

자동차용 피스톤소재의 금속적 특징 및 선삭 가공 특성

채왕석*, 김경우*, 최현민*, 김동현**

Turning and Metallic Characterization for Piston Materials of Automobile

Wang-Seok Chae*, Kyong-Woo Kim*, Hyun-Min Choi*, Dong-Hyun Kim**

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the influence of machining characteristics for aluminum alloys. The effect of metallic microstructural variables on the measures of machinability of aluminum alloys has not been adequately investigated.

Machining Characteristics are influenced significantly by mechanical characteristics, composition and structure of material etc. For improvement of machining characteristics, various studies are reported.

In this paper, composition elements add to aluminum alloys within the limit of sustaining mechanical characteristics of metallic material. We have analyzed dynamic characteristics of cutting resistance, tensile strength value, hardness value etc.

1. 서 론

산업사회의 발달은 인간의 일상생활에 편리함과 윤택함을 제공하고 있으며 특히 자동차 공업은 세계 시장을 선도하는 산업으로 부각되었다. 이에 자동차에 대한 사회적 요구는 안전성, 배기가스의 저감과 경량화에 의한 연비 향상 및 리사이클 문제 등의 환경에 대한 것과 종래부터 문제가 되어온 고성능화, 고기능화 및 내구성 향상이다. 이들 요구에 대하여 재료에 부과된 역할은 아주 중요하다고 할 수 있다.

자동차 재료에 사용되어지는 재료는 강관과 강판, 구조용 강, 주철 재료, 소결 재료로 이루어진 철강 재료와 동, 아연, 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등을 주원료로 하는 비철금속 재료 및 고무, 유리, 플라스틱, 접착제, 섬유, 도료 등의 비금속 재료 등 많은 종류로 구

성되어져 있다.

자동차 재료가 가지는 필요조건은 대량 공급과 안정적인 공급이 가능 하고 대량 생산에 적합한 가공 생산성과 품질이 균일화되어야 하며 가격이 싸고 안정적이며 각 부품의 설계상 필요 특성인 기계적, 화학적, 물리적 특성을 만족시켜야 한다. 또 생산 기술상의 특성인 주조성과 단조성, 성형성, 피삭성, 도장성, 열처리성, 용접성, 접합성, 공작성을 만족시키는 것이 요구된다.

자동차의 경량화 재료 가운데 엔진 피스톤의 재료로 사용되는 알루미늄은 주물용 알루미늄 합금으로 알루미늄과 규소 합금을 기본으로 하여 마그네슘을 첨가하여 열처리 효과를 개선하여 내식성, 강인성을 우수하게 하기도 하며, 구리를 증가시켜 내식성은 다소 저하되지만 강도가 높고 주조성을 양호하게 하고, 규소와 구리의 양을 적게 하고 열처리 효과를 높여 고강도, 강인성, 내열성을 양호하게 한다. 또 규소의 양을 증가시켜 주조성이 양호하게 하고 열팽창율이 작으며 내열성, 내마모성이 우수한 재료로 개선할 수 있다. 이와 같이 피스톤 재료로 사용하는 알루미늄 합금의 조성을 개선하여 가볍고 내식성이 양호할 뿐

* 원광대학교 대학원 기계공학과

**원광대학교 기계공학부

만 아니라 합금에 따라 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 우수한 공업재료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 실제로 피스톤 제작을 위한 절삭가공에 있어서 알루미늄 합금은 절삭저항은 그다지 크지 않으나 연질재이기 때문에 저속에서는 칩의 생성이 경작형이 되고 구성인선(built-up edge)이 많이 발생하며, 절삭 깊이가 증가하면 표면층 유도의 변화 양상이 매우 복잡하게 됨에 따라 양호한 절삭가공면을 얻기가 어렵다. 따라서 자동차 피스톤 소재 등 각종 기계부품 및 전자공업 부품의 중요한 재료로서 알루미늄은 알루미늄 합금이 지니고 있는 고유 특성에 따라 절삭성 향상이 절실히 요구되고 있다.^{(1), (2), (3), (4), (5)}

일반적으로 절삭성에 대해서는 연구는 해석 방법에 따라 다소 차이가 있지만 일반적으로 절삭저항의 크기, 표면 거칠기, 공구수명 및 칩 생성과 칩 처리의 불량 등이 판정의 기준으로 이용되고 있다.

본 연구에서는 자동차 소재 가운데 알루미늄 합금을 사용하는 엔진의 피스톤에 관하여 피스톤 소재의 절삭가공에 대한 절삭성 향상을 목표로 피스톤소재로 사용되는 알루미늄 합금에 대하여 기존에 상용화되고 있는 소재와 소재를 구성하는 성분원소를 가감하여 임의 제조한 소재를 실험 소재로 하여 소재가 가지는 고유의 금속적 특징과 각 절삭조건에 따른 선삭가공 실험을 통한 가공성을 비교 검증하여 실제 생산현장에서 소재 개선 및 절삭 가공 조건으로 사용할 수 있는 자료를 제안 제시하고자 한다.⁽⁶⁾

2. 본 론

2.1 피스톤용 알루미늄 합금

피스톤은 엔진의 연소실을 구성하는 중요한 핵심 부품으로 실린더 내를 왕복 운동으로 혼합기의 연소와 폭발에 의하여 발생하는 고온, 고압의 연소 가스 압력에 대한 직접적인 영향을 커넥팅 로드를 거쳐 크랭크축에 회전력으로 전환시켜주는 부품으로 크라운부, 스커트부 핀 보스부로 세분된다.

크라운부는 노킹 발생 역제를 목적으로 열 전도성이 우수하고 폭발력에 견디는 고온 피로 강도, 연소에 의한 가열과 냉각의 반복성에 견디는 열 피로강도 등

이 요구되며 링 홈 부분은 내마모성과 내용착성이 요구된다. 스커트부는 실린더의 내면과 접촉하기 때문에 마찰 손실의 저감을 위하여 마찰 계수가 적어야 함이 요구된다. 핀 보스부는 혼합기 연소에 따른 폭발력이 보스의 핀을 거쳐 커넥팅 로드와 전달되기 때문에 고온 피로 강도가 필요하다.

피스톤 각부의 요구 성능을 위하여 피스톤 재료는 내열성이 우수한 알루미늄 주조 합금 가운데 알루미늄-구리-규소-마그네슘-니켈(Al-Cu-Si-Mg)계가 대부분이며 재료에 대한 열처리는 가열시 치수 안정성과 항복강도 향상을 목적으로 인공시효 T6 처리가 일반적이다. 또한 표면 처리로 실린더 내면과 초기 길들임을 갖기 위하여 두께가 1~2 μ m의 전해 도금을 한다. 또 상부 링홈부의 내마모성을 위하여 두께 20~30 μ m의 알루미이트 처리와 스커트부의 마찰 손실 저감을 위하여 8~10 μ m의 물리브렌 코팅(용사·溶射)한다. 또 디젤 엔진에서는 상부 링 홈부에 대한 내마모성 확보를 위하여 Ni-resist 주철제의 내마모 환경을 내부에 포함한 주조제를 사용하고 피스톤의 경량화를 위하여 Ni-resist 주철제의 내마모 환경을 대신하여 알루미늄나 섬유·실리카 섬유와 니켈 발포체로 강화한 용탕 단조법(FRM)을 부분적으로 채용한 예도 있다.

피스톤 재료로 상용되는 알루미늄 주물 합금의 미세조직은 규소의 함량이 11~13%로 거의 공정 조성이며 규소의 함량이 8.5~10.5%에는 약간의 아공정 쪽의 규소량을 함유하고 있기 때문에 규소의 함량이 8.5~10.5% 일 경우가 열 팽창 계수가 약간 크고 조직적으로는 초정 α 수지상 조직이 많이 관찰되며 주조성도 양호한 편이다. 피스톤 재료로 사용되는 알루미늄 주물 합금은 CuAl₂Mg₂Si의 중간상 등의 시효 석출에 의한 기지 조직의 강화와 함께 공정 조직중으로 이들 화합물의 정출물이 분산 강화에 의한 고온 강도 향상에 기여한다. 피스톤이 고온에서 장시간 노출되면 용체화 처리시 변형 개발에 따른 미소 치수 변화와 CuAl₂Mg₂Si 등의 석출에 따른 치수 변화로 영구 성장이 발생하게 된다.

또 상용화되고 있는 피스톤 재료는 구리, 마그네슘, 니켈 등의 강화원소를 다량으로 첨가하여 연신율이 작아져 나트륨의 개량에 의한 연신율의 향상 효과가 명확하게 나타나기 어려우며 적극적으로 개량시킨 예는 극히 드문 것이 현실이다.

2.2 절삭실험

본 실험에서 사용한 알루미늄 합금은 기존에 활용되고 있는 피스톤 재료인 AC8B와 본 연구에서 알루미늄 합금의 성분원소를 가감하여 개발 제작한 개발 모델 2가지를 사용하였으며, Table 1과 2는 피삭재 각각에 대한 화학적 성질과 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of testing materials

	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ni	Pb	Ti	Al
AC8B	10.53	0.43	2.46	0.73	0.16	0.42	0.56	0.07	0.022	84.32
Sample	10.34	0.63	3.560	1.170	0.190	0.340	0.180	0.07	0.044	82.72

Table 2 Mechanical properties of testing materials

	Tensile Stress (MPa)	Yielding Stress (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
AC8B	273	152	10	150.9
Sample	271	154	10	151.5

Table 3 Cutting conditions of turning

Cutting speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Cutting fluid
150, 300, 500, 800, 1000	0.1, 0.2, 0.3	1.5	Dry

선삭실험에 사용한 절삭조건은 Table 3과 같으며 피삭재는 환봉을 사용하여 선반 주축에 장착하고 공구대 위에 고정구를 이용하여 공구를 장착한 KISTLER 9257B 공구동력계를 설치하여 절삭력을 측정하며 측정된 신호는 charge amplifier(Kistler, 5011B)로 보내져 증폭되고 증폭된 신호는 A/D 컨버터에 의하여 절삭력에 상당하는 전압값으로 변환된다. 변환된 신호는 PC기반의 절삭력 분석 프로그램인 DynoWare를 이용하여 절삭력을 분석하였다. 실험에 사용한 공구는 (주)대한중석초경의 알루미늄 및 비철

금속 절삭에 적합한 CCGT 060202 FL K20재종을 사용하였으며, 툴홀더는 SCLCR 1212F 09를 사용하였다.

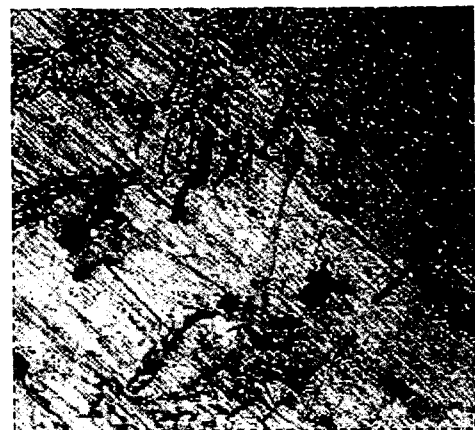
3. 결과 및 고찰

3.1 시험편의 제조

본 실험에서 사용한 피삭재는 현재 국내에서 자동차용 피스톤 소재로 널리 사용되고 있는 AC8B와 AC8B의 고유의 기계적 성질을 지니면서 피삭성을 향상시키기 위하여 성분원소를 가감한 sample을 개발하였다. Fig. 1은 두 가지 시험편의 금속조직을 전자현미경을 이용하여 배율 250배로 촬영한 사진이다.



(a) AC8B



(b) Sample

Fig. 1 Microstructure of tested samples($\times 250$)

본 실험에서 사용한 시험편은 주조후 T6로 열처리 하여 균일화시킨 후 sampling 하였으며, 각 시험편별로 함량분석을 행한 결과 허용오차 이내의 수준에 있었으며, 따라서 조직비교에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 조직의 차이에 따른 기계적 성질의 값 변화도 거의 없었다.

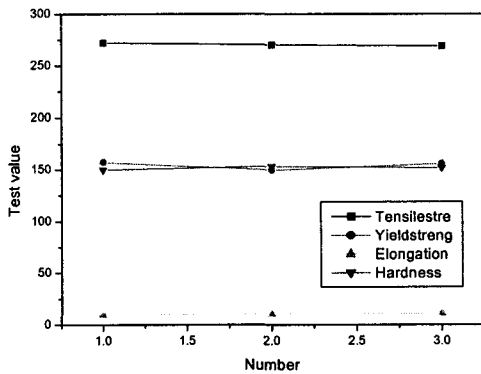


Fig. 1 Results of mechanical properties for sample

Sample은 환봉 금형을 제작하여 $\phi 80 \times 300\text{mm}$ 로 주물 가공하여 T6로 열처리하여 화학성분을 분석하였고, 기계적 성질을 AC8B와 sample을 비교하여 시험하였다. Fig. 1은 개발소재인 sample의 기계적인 성질인 인장강도, 항복강도, 연신율, 경도 등을 3회 이상 시험하여 나타낸 것이다. Table 2는 기계적 성질의 평균값을 나타낸 것이다.

3.2 절삭저항

Fig. 2는 절삭깊이 1.5mm, 이송 0.2mm/rev일 때 비교 시험재의 절삭속도의 변화에 따른 절삭 저항을 비교하여 나타낸 것이다. 절삭저항의 실험결과 비교 시험재 모두 절삭속도가 증가함에 따라 절삭 저항은 감소하는 경향을 보였다. AC8B의 절삭저항에 비하여 Sample의 경우가 약 10%정도 절삭저항이 감소함을 알 수 있었다.

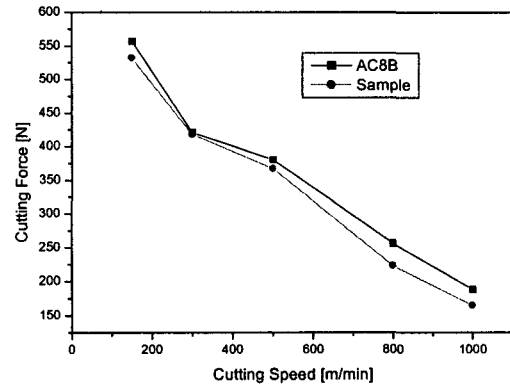


Fig. 2 Relative cutting force of each sample

절삭속도 300~500m/min 구간에서 절삭저항의 불연속 구간이 나타남은 저속 절삭영역에 속하는 구간에서 알루미늄 합금의 칩이 경작형이 되고 절삭속도가 증가됨에 따라 유동형으로 되는 경계로서 절삭열로 인하여 칩과 인서트의 친화력으로 용착이 현저하게 일어남에 따른 것으로 보이며 또한 재결정의 영향도 클 것으로 판단되며, 구성인선의 영향도 다소 발생함을 볼 수 있었다.

Table 2의 데이터에서 알 수 있듯이 AC8B와 Sample의 기계적 성질의 변화는 크지 않으면서 절삭저항의 감소 경향을 보이는 본 연구의 개발품이 가공이 우수함을 알 수 있었다. 즉 피스톤 소재의 고유의 기계적 성질을 유지하면서 가공성을 향상시킬 수 있는 sample 재료를 제시할 수 있다.

3.3 절삭저항

Fig. 3은 절삭깊이를 1.5mm, 절삭속도 800m/min으로 일정하게 하여 이송의 변화에 따른 선삭실험 결과를 나타낸 것이다.

이송이 증가함에 따라 비절삭 저항이 감소하는 경향을 보이고 있다. 이송이 커짐에 비절삭저항의 불연속 영역의 범위가 커짐은 방열이 많아 용착이 느리게 일어나기 때문이라고 판단된다.

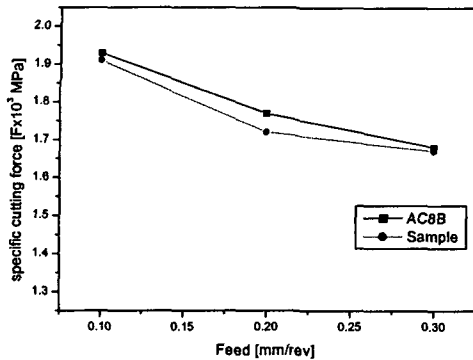


Fig. 3 Relative specific cutting force of each sample

4. 결 론

본 연구는 현재 자동차 피스톤 소재로 사용되고 있는 AC8B와 개발제품인 sample의 성분원소 가감에 따른 절삭특성을 비교 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 개발 제품의 기계적 성질은 기존의 AC8B에 비하여 고유의 기계적 성질을 나타내었다.
2. 개발 제품은 절삭속도의 증가에 따라 AC8B에 비하여 10%정도 절삭저항이 감소하였다.
3. 이송량의 증가에 따라 비교 피삭재 모두 비절삭 저항이 감소함을 알 수 있었다.
4. 본 연구에서 성분원소의 가감에 의하여 개발된 sample의 절삭특성이 향상됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Henriksen, E. K., "Chip Breaking - A Study of Three Dimensional chip Flow," ASME, Vol. 9, pp. 53-59.
2. Nakayama, K., "Chip Form Geometry and Chip Control," JSPE, Vol. 38, No. 12, pp. 1070, 1972.
3. Masada, M., Hara, T., Kasei, S., "The Chip Control in Metal Cutting," JSPE, Vol. 47, No. 5, pp. 529, 1981.

4. Minato, "On the Chip Excluding," Bullentin Japan Soc. of Prec. Eng.," Vol. 8, No. 1, pp. 21, 1974.
5. Kaldor, S., Ber, A., Lenz, E., "On the Mechanism of Chip Breaking," ASME J. of Eng. for Ind., Vol. 101, pp. 241, 1979.
6. 채왕석, "쾌삭강의 쾌삭원소 첨가에 따른 내부 품질 특성 및 피삭성에 관한 연구," 원광대학교 석사 학위논문, 1996.