

알루미늄 합금의 미세조직 개선에 의한 절삭 가공 특성 향상

채왕석*, 김경우, 최현민(원광대 대학원 기계공학과),
김동현(원광대 기계공학부)

Machining Characteristics Elevation by Micro-structure Improvement of Aluminum Alloy

W. S. Chae, K. W. Kim, H. M. Choi(Mech. Eng. Dept., WKU),
D. H. Kim(Mech. Eng. Div., WKU)

ABSTRACT

This research has been carried out to experiment machining characteristics by elements addition and subtraction of AC8B and sample that is used for car piston materials.

1. Mechanical properties of development sample expressed unique mechanical properties than AC8B.
2. Cutting resistance of development sample decreased about 10% than AC8B according to increase of the cutting speed.
3. According to increase of the feedrate, all comparison workpiece found that specific cutting resistance decrease.
4. It was found that sample's machining characteristics that is developed by addition and subtraction of elements improves.

Key Words : Machinability(피삭성), Composition element(성분원소), Cutting resistance(절삭저항),
Mechanical characteristics(기계적 성질), Aluminum alloy(알루미늄 합금)

1. 서론

기계의 경량화가 요구되어짐에 따라 정밀기계의 부품이나 전자기기 등에 알루미늄 재료의 이용도가 급상승하고 있다. 알루미늄은 비중이 적고 내식성이 양호할 뿐만 아니라 합금방법에 따라 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 뛰어난 기계재료를 얻을 수 있지만 절삭 가공에는 많은 문제점을 내포하고 있다고 알려져 있다.

알루미늄 합금은 Si 다음으로 지구상에서 다량으로 존재하는 원소로서 공업용 금속 가운데 Mg 다음으로 가벼운 경량금속으로 제조시 주조가 비교적

용이하고 다른 금속과 합금이 잘 되며 상온이나 고온 상태에서 가공이 비교적 용이한 특징을 가지고 있으며 사용 범위는 매우 다양하다. 특히 자동차 산업에서의 알루미늄 합금의 사용량은 자동차 전체 재료의 약 5%정도를 차지하고 있으며 사용 비중은 날로 증가하고 있다.

또 자동차의 각종 부속장치에 대한 최근의 개발 동기는 단순한 연비 향상뿐만 아니라 환경 규제에 따른 경쟁력 향상을 포함하여 자동차의 수명 연장, 안정성 향상, 자원 재활용을 위한 리사이클링 등으로 폭넓게 확산되어 진행되고 있다.

특히 엔진 효율 향상을 위하여 환경오염 방지와 연료 절감을 위하여 소재의 경량화를 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 소재의 경량화와 더불어 기존에 활용되고 있는 소재가 지니는 고유의 특성을 고려하여 소재 제작에 따른 개선 방안에 관한 연구 및 개발이 아울러 진행되고 있다.

자동차 엔진 피스톤 재료로 사용되는 알루미늄 합금은 가볍고 내식성이 양호할 뿐만 아니라 합금에 따라 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 우수한 공업재료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 절삭가공에 있어서 절삭저항은 그다지 크지 않으나 연질재이기 때문에 저속에서는 칩의 생성이 경작형이 되고 구성인선(built-up edge)이 많이 발생하며, 절삭깊이가 증가하면 표면층 유도의 변화 양상이 매우 복잡하게 됨에 따라 양호한 절삭가공면을 얻기가 어렵다. 특히 자동차 피스톤 소재 등 각종 기계부품 및 전자공업 부품의 중요한 재료로서 알루미늄이 더욱 각광을 받게 됨에 따라 절삭성 향상이 절실히 요구되고 있다.^{(1), (2), (3), (4), (5)}

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

본 연구에서는 자동차 소재의 하나인 피스톤 소재인 알루미늄 합금을 실험 소재로 하여 소재의 절삭 가공 능력을 향상시키기 위하여 소재를 구성하는 성분 원소가 절삭가공 특성에 미치는 영향에 대하여 고려하여 기존에 활용되고 있는 피스톤 소재와 가공성을 향상시키는 성분 원소의 가감에 의하여 개선된 미세 조직을 지니는 소재를 제작하고 비교 소재로 하여 비교 소재의 제반 기계적 성질과 각 절삭조건에 의한 선삭가공 실험을 통하여 가공성을 비교 검증하여 실제 생산현장에서 소재 개선 및 절삭 가공 조건으로 사용할 수 있는 자료를 제안 제시하고자 한다.⁽⁶⁾

2. 실험

2.1 알루미늄 합금

알루미늄 주조시 유동성이 적고 수축율이 많으

며 가스의 흡수나 발산이 많기 때문에 순수 알루미늄의 제조는 매우 어려워 Fe, Si, Cu, Zn, Ti, Mn, V 등 불순물 합금을 첨가하는 것이 일반적인 추세이다. 알루미늄은 활성 금속체로 대기 중에서 쉽게 산화가 되는 단점이 있지만 표면에 치밀한 알루미늄 산화 피막의 형성으로 내부 산화를 방지하기도 한다.

알루미늄은 일반적으로 응고시 수축율이 크고 핀홀(pin hole)이 쉽게 발생하여 주조가 곤란하기 때문에 주물용 알루미늄 합금은 강도가 다소 약화되더라도 주조성이 좋은 조성으로 하기 위하여 용점이 낮은 합금이 사용된다. 즉 알루미늄-구리계 합금, 알루미늄-규소계 합금, 알루미늄-마그네슘계 합금 등 2원 합금을 기초로 하여 소량의 Ni, Mn, Zn, Cu, Si, Mg 등을 가한 다원계 합금으로 구분되어 진다.

자동차 엔진의 피스톤 재료로 쓰이는 알루미늄 합금은 알루미늄-규소 합금과 알루미늄-규소-구리-마그네슘계의 공정 합금 등이 있다. 피스톤에 사용되는 합금은 엔진의 성능을 충분히 발휘하기 위하여 열팽창 계수가 작고 피스톤의 치수 안정성이 요구된다 피스톤이 고온에서 장시간 노출되면 용체화 처리시의 변형 개방에 따른 미소 치수 변화와

$CuAl_2$, Mg_2Si 등이 석출에 따른 치수변화로써 영구성장이 발생하게 된다. 치수 안정성에 관하여 고온 강도를 보면 200℃ 이하에서는 T5, T6계의 강도차가 크지만 실제 사용 온도에 근접한 250℃ 이상이 되면 양자의 차이는 거의 없어지며 치수 안정성이 양호하여 T5, T6 상태에서도 사용 가능하게 된다. 피스톤 재료로서의 알루미늄 재료는 Cu, Mg, Ni 등의 강화 원소를 다량으로 첨가하여 연신율이 작아 지므로 나트륨 등의 개량에 의한 연신율의 향상 효과가 명확하게 나타나기 어려우며 적극적으로 개량시킨 예는 드물다. 그러나 현실적으로 탈제 용체에서 혼입된 나트륨에 의하여 약간의 개량효과가 얻어지는 경우가 많다. 또 알루미늄-규소-구리-마그네슘계의 공정 합금은 공정 또는 공정에 근접한 아공정 조성의 Si 이외에 구리, 마그네슘, 니켈 등의 합금 성분이 첨가되어 열팽창 계수가 작고 내마모성이 우수하며 연신율은 작지만 인장 강도, 항복 강도, 경도 등의 기계적 성질은 상온뿐만 아니라 고온에서도 우수하다. 알루미늄-규소-구리-마그네슘계의 공정 합금의 미세조직은 규소의 함유량에 따라 공

정 조성 또는 약간의 아공정 조성으로 초정 α 수지 조직이 많이 관찰되며 주조성도 비교적 양호하다. 특히 이들 합금은 $CuAl_2$, Mg_2Si 의 중간상 등의 시효석출에 의한 기지조직의 강화와 함께 공정조직 중으로, 이들 화합물의 정출물도 $NiAl_2$ 정출물과 함께 분산 강화에 의한 고온 강도 향상에 기여한다. 또 Ni의 효과는 약간 있으며, 오히려 가열 후의 영구 성장량을 증가시킨다는 보고도 있다. 일부 실용 예에는 니켈 대신에 망간을 첨가한 합금도 있다.

2.2 절삭실험

본 실험에서 사용한 알루미늄 합금은 기존에 활용되고 있는 피스톤 재료인 AC8B와 본 연구에서 알루미늄 합금의 성분원소를 가감하여 개발 제작한 개발 모델 등 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 전압 값으로 변환된다. 변환된 신호는 PC기반의 절삭력 분석 프로그램인 DynoWare를 이용하여 절삭력을 분석하였다. 실험에 사용한 공구는 (주)대한중석초경의 알루미늄 및 비철금속 절삭에 적합한 CCGT 060202 FL K20재종을 사용하였으며, 공구홀더는 SCLCR 1212F 09를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험편의 미세 조직과 기계적 성질

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.

Sample은 환봉 금형을 제작하여 지름 $\phi 80$, 길이 300mm의 크기로 주물 가공하여 T6로 열처리하여 화학성분과 미세 조직을 분석하였고, 기계적 성질을 AC8B와 sample을 비교하여 시험하였다.

시험편의 현미경 조직의 관찰 결과는 photo 1과 같으며 기계적 성질 결과는 Fig. 1과 같다.

시험편의 화학 성분을 AC8B와 sample을 비교하면 AC8B에 비하여 sample이 Cu와 Mg의 함량은 많으나 Ni의 함량은 다소 낮은 것으로 나타났다.

또 조직 사진을 보면 두 시험재 모두 아공정 조성으로 초정 α 수지상 조직이 나타나며 특히

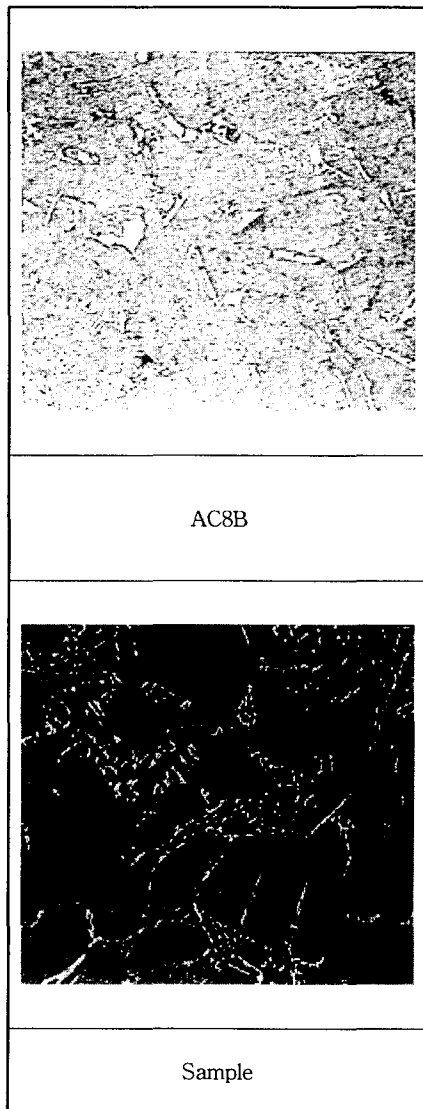


Photo 1. Optical micro-structure of AC8B and tested sample($\times 250$).

sample에서의 초정 α 수지상 조직이 선명히 관찰되었고, $CuAl_2Mg_2Si$ 의 중간상 등의 시효석출에 의한 기지조직의 강화로 분산 강화에 의한 고온 강도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 2는 두 시험재의 기계적 성질의 평균값을 나타낸 것이며 Fig. 1은 개발소재인 sample의 기계적인 성질인 인장강도, 항복강도, 연신율, 경도 등을 3회 이상 시험하여 나타낸 것이다.

기계적 성질을 보면 개발 제품의 기계적 성질은

기존의 AC8B과 비교하여 고유의 기계적 성질을 나타내었다.

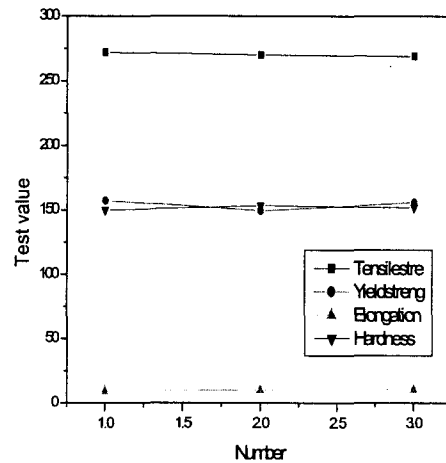


Fig. 1 Results of mechanical properties for sample

3.2 절삭 저항

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.

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.

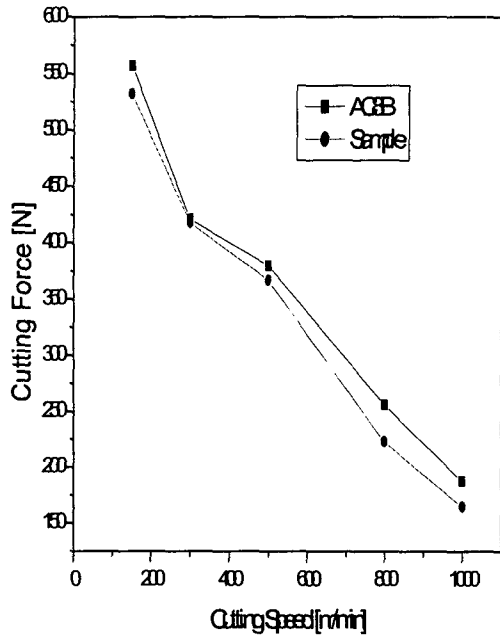


Fig. 2 Relative cutting force of each sample

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 이 송

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 따라 비절삭저항의 불연속 영역의 범위가 커짐은 방열이 많아 용착이 느리게 일어나기 때문이라고 판단된다.

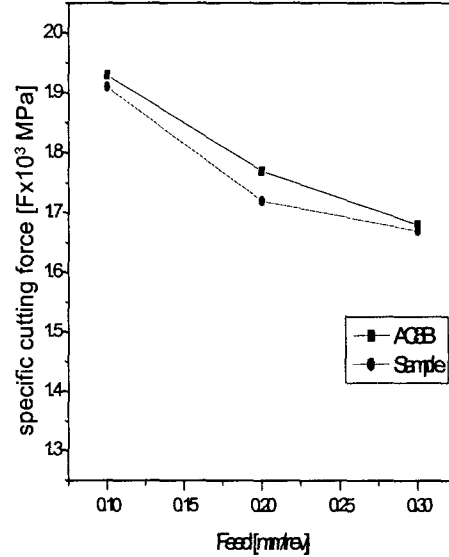


Fig. 3 Relative specific cutting force of each sample

4. 결론

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

1. 두 시험재의 조직은 모두 아공정 조성으로 초정 α 수지상 조직이 나타나며 특히 sample에서의 초정 α 수지상 조직이 선명히 관찰되어 $CuAl_2$, Mg_2Si 의 중간상 등의 시효석출에 의한 기지조직의 강화로 분산 강화에 의한 고온 강도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.
2. 개발 제품의 기계적 성질은 기존의 AC8B에 비하여 고유의 기계적 성질을 나타내었다.
3. 개발 제품은 절삭속도의 증가에 따라 AC8B에 비하여 10%정도 절삭저항이 감소하였다.
4. 이송량의 증가에 따라 비교 피삭재 모두 비절삭 저항이 감소함을 알 수 있었다.
5. 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 석사학위논문, 1996.