

자동차 피스톤 소재의 조직 개질에 의한 절삭성 향상

채왕석*(군장대 자동차기계학부), 김동현(원광대 기계공학부)

A Study on the Machinability Progress by the Structure Improvement of Materials for Automobile's Piston

W. S. Chae(Automobile & Mech. Eng. Dept., KJC), D. H. Kim(Mech. Eng. Dept., WKU)

ABSTRACT

In this paper the following conclusions were obtained after examining and analyzing data through the various experiments by adopting automobile's piston as the experimental materials among the automobile materials which are being commercialized. The various experiments have been carried out with the object of presenting the selection of rational, economic materials and criterion according to the improvement of machining characteristics by grasping the strength and weakness of existing various materials and using the effects of metallic structure variables as well as satisfying the required conditions.

Key Words : Materials for Automobile's Piston(피스톤 소재), the Structure Improvement(조직 개질), Machinability (절삭성), Cutting force (절삭력)

1. 서론

자동차의 각종 부속장치에 대한 최근의 개발 동기는 단순한 연비향상뿐만 아니라 환경규제에 따른 경쟁력 향상을 포함하여 자동차의 수명연장, 안정성 향상, 자원재활용을 위한 리사이클링 등으로 폭넓게 확산되어 진행되고 있다.

특히 엔진 효율성 향상을 위하고 환경오염방지와 연료절감을 위하여 소재의 경량화를 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있지만 소재의 경량화와 함께 기존에 활용되고 있는 소재가 지니는 고유의 특성을 고려하여 소재제작에 따른 개선 방안에 관한 연구 및 개발이 아울러 진행되어야 한다고 판단된다.

또 절삭가공에서 절삭성 검토 및 향상을 위해서 절삭가공 전에 절삭재료에 대한 금속학적 특성 및 기계적 특성을 정확히 검토하면 향상된 절삭가공이 가능할 수 있을 것으로 판단된다. 재료의 피삭성을 개선하고 생산능률을 향상하기 위하여 폐삭 첨가물(free machining additives)을 미량 첨가하여 금속재료의 기계적 성질을 저하시키지 않는 범위에서 피삭성을 개선해 보고자 하는 연구⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾가 진행되고 있다.

금속재는 소량 혹은 다량의 기지조직과 조성의

다른 물질을 함유하고 있는 비금속 개재물(Non-metallic Inclusion)이 존재하고 있으며 이 개재물이 금속재에 대해서 나쁜 영향을 미치고 있으면 가능한 그 수를 감소시키기도 하며 S, Ca와 같은 폐삭원소 첨가의 경우는 개재물의 양을 증가시킴으로써 절삭성을 향상시키고 있다.⁽⁵⁾

따라서 본 연구에서는 상용화되고 있는 자동차용 피스톤 재료에 관하여 금속적 조직 변수들의 효과를 이용한 기존의 소재에 대한 장단점을 파악하여 보다 합리적이고 경제적인 소재의 선정과 절삭성 향상에 따른 기준을 제시하고자 기존에 상용되고 있는 KS AC8B와 금속적 조직 변수효과를 이용한 개발 소재를 실험 소재로 하여 내부품질 개선을 위한 변수를 고찰하고 실제 가공실험을 통한 절삭성 실험으로 실험결과 데이터를 검토 분석하였다.

2. 관계 이론

알루미늄 합금으로 자동차의 경량화는 단순히 자량 무게의 감량만이 아니고 자동차 운전시 충분하게 안전하고 안락하며 경제적인 욕구를 만족시킴은 물론 환경 보호 차원에서 무게를 최소화하기 위한 수단으로 기존의 철강 소재에서 알루미늄합금 소재로

대체 사용하고 있는 추세이다.⁽⁴⁾

알루미늄 소재가 사용되는 엔진의 피스톤은 연소 압력에 의한 하중과 왕복운동에 의한 관성력이 작용하여 기계적 변형이 발생되며 연소가스에 노출되어 온도가 상승하여 온도구배에 의한 열 변형이 발생된다. 이들 폭발하중과 관성력 및 열 부하에 따라 피로 파괴나 용손, 섭동부의 마모, 가열 부작 등의 손상이 일어날 수 있다. 또 피스톤은 왕복·회전 운동에 따라 틀어질 거동을 나타내어 이러한 거동은 피스톤과 실린더의 충돌에 의한 소음(슬랩음)이나 윤활유의 소비량 등에 영향을 미친다. 피스톤 설계시 이와 같은 손상의 방지, 소음의 저감 등에 배려하고 동시에 기계효율을 향상시키기 위한 경량화를 꾀한다.

피스톤재료에 필요한 조건은 경량, 양호한 열전도성, 고온강도, 낮은 열팽창계수, 내마모성, 저비용 등이 있으며 이러한 조건들을 만족시키기 위하여 주로 알루미늄-규소 합금에 구리, 마그네슘, 니켈을 첨가하며, 이들은 열팽창이 작고 고온강도를 가진다. 코스트 절감을 위하여 니켈을 제외한 합금도 있고 니켈의 대체로서 염가의 망간을 첨가한 합금도 있다.

피스톤의 재료, 제법으로 KS AC8A, AC8B가 대부분이며 일부에서는 KS AC8C가 해당품을 대표로 하는 알루미늄합금을 주조하는 것이 많고 강도나 치수의 안정성을 얻기 위하여 T5~T7의 열처리를 하고 있다. 이밖에도 알루미늄 단조제나 주철제 피스톤 등이 있어 고부하 엔진에서 사용된다.

이러한 피스톤 재료의 특징을 보면 공정 또는 공정에 근접한 아공정 조성의 Si이외에 Cu, Mg, Ni 등의 합금성분도 첨가되어 있다. AC8B는 8.5~10.5%로 약간 아공정쪽의 Si 양을 함유하고 있기 때문에 열팽창계수는 AC8A보다 약간 크고 조직적으로는 초정 α 수지상 조직이 많이 관찰되며, 주조성도 약간 양호하다.

피스톤에 사용되고 있는 합금은 엔진성능을 충분히 발휘하기 위하여 열팽창계수가 작고 피스톤의 치수안정성이 요구된다. 피스톤이 고온에서의 장시간 노출되면 용체화 처리시의 변형개방에 따른 미소 치수변화와 Mg_2Si , $CuAl_2$ 등이 석출에 따른 치수변화로써의 영구성장이 발생하게 된다.

가공재료의 가공성은 금속제거율, 절삭력, 동력손실, 표면 거칠기와 칩 유형과 형상 등에 의해서 평가된다. 가공성 면에서 금속 제거율은 높은 제거율을 갖는다면 가공성이 양호하다고 평가할 수 있다. 공구에 작용하는 절삭력과 동력손실 또한 가공재료의 가공성을 평가하기 위한 평가기준으로 사용되고 측정된다. 공구동력계를 사용하여 측정된 힘은 특정한 격삭조건에서 측정된 값이다. 낮은 절삭력은 가공성이 양호함을 의미한다.

3. 실험

3.1 실험재 종류와 제조

본 연구에서는 자동차재료 가운데 피스톤 재료로 쓰이는 알루미늄합금 중에서 상용화되고 있는 AC8B와 Si와 Ni 성분을 감량하고 Cu와 Mg 성분을 증가한 Sample 등 2가지 소재를 실험 소재로 하였다.

실험재의 제조 공정은 Fig.1과 같으며 실험재를 제조하기 위하여 3 ton 도가니로를 사용하여 있으며 실험소재별로 150 kg을 기준으로 8B ingot와 모합금을 용해한 다음 탈가스제를 넣어 가스와 재를 제거하였고 다음에 Si와 Cu와 Mg을 순서대로 넣고 교반하였다.

Sample별로 실험재로서 갖추어진 원형봉(φ 60×300 l)을 KS 지정 열처리조건 중 500℃에서 8시간 동안 수중 담금질을 하고 170℃에서 16시간 풀림 처리로 T6 열처리를 하였다.

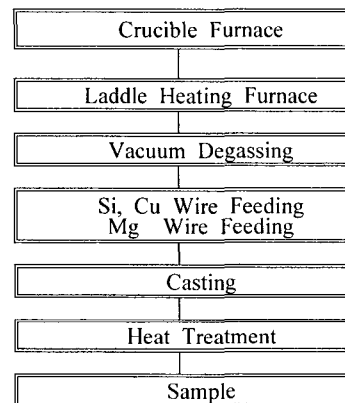


Fig. 1 Manufacturing process for samples

3.2 내부품질 및 기계적 성질 실험

본 실험에서 사용된 실험 장치 및 기기의 사양은 Table 1과 같다.

3.3 절삭성 평가 실험

본 연구에서는 알루미늄합금의 절삭성을 평가하기 위하여 선삭가공시 절삭공구에 미치는 절삭력을 평가기준으로 설정하였다.

절삭성 평가실험에 사용한 정밀고속선반(HL-380: HWACHEON)은 주축속도 45~1800 rpm, 베드 스윙 400 mm, 이송 0.12~0.84 mm/rev의 재원을 가진 고속정밀선반을 사용하였다.

절삭력을 측정하기 위하여 선반의 공구대 위에 공구를 장착한 Kistler의 Tool Dynamometer 9257B를 설치하고 절삭력을 측정하며 측정된 신호는 charge amplifier(Kistler, 5011A)로 보내져 증폭되고 증폭된 신호는 A/D 컨버터(CIO-DAS 1602/12)에 의하여 절삭력에 상당하는 전압값으로 변환된다. 변환된 절삭력 신호는 PC기반의 절삭력 분석 프로그램인 Dyno Ware에 의하여 해석되어진다.

Table 1 The specifications of experimental apparatus

| TESTER | SPEC |
|-------------------------|---|
| Spectrometer | - model : SPECTRO FLAME - 26 channels |
| Image analyzer | - model : LECO-300 - ×50~2000 |
| Tensile tester | - model : SHIMADZU UH-100AUH-100A - max range : 100 ton, 6range |
| Vickers Hardness tester | - model : MVK-H100 - max height 3.54"(90mm) - max depth 3.94"(90mm) - mass 102.31 lbs(46.5kg) - load 10~1000g |
| Charpy Impact tester | - model : CH-type (SHIMADZH, Japan) - max 30m kg |

절삭중 가공물의 표면에 발생하는 가공경화를 고려하여 0.03 mm 정도의 전 절삭을 행한 후 건식절삭으로 실험을 했다. 가공물의 직경오차는 선반주축의 rpm과 관련하여 ±5 %를 유지하였으며, 가공물의 길이는 가공물 회전시 진동을 피하기 위하여 주축대에서 가까운 곳에서 실험할 수 있도록 250 mm 이내로 하였다. 절삭상태가 비교적 안정된 상태에서 데이터를 얻기 위하여 각 절삭조건에서 5~20초 동안 절삭하면서 모니터상에 출력된 절삭력 신호를 모니터링 하면서 데이터를 얻었으며, 데이터 획득시간은 0.1초 단위로 블록화하였다. 절삭깊이, 이송, 절삭속도의 변화에 대하여 각각 실험을 행하였으며, 각 조건에 대하여 절삭력을 측정하였다.

실험에 사용한 공구는 알루미늄 가공에 적합한 Insert Tip인 DCGT 11T304-AK K20재종을 사용하였으며, Tool Holder는 SDACR I212-F11을 각각 사용하였다. 공구의 노즈반경은 칩 발생시 발생하는 진동이나 공작기계의 진동이 칩형성에 미치는 영향을 고려하여 0.4mm를 선택하였다.

절삭실험조건은 알루미늄합금의 절삭시 일반적으로 유용하다고 알려진 절삭범위에서 현재 산업현장에서 활용되는 절삭조건을 기준으로 하여 시뮬레이션과 예비절삭실험을 통하여 실험에 적당하다고 판단되는 절삭속도, 이송, 절삭깊이를 선정했으며, 자세한 절삭조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Cutting condition

| cutting speed (m/min) | feed (mm/rev) | depth of cut (mm) | coolant |
|-----------------------|------------------------|-------------------|---------|
| 100, 150, 200 | 0.12, 0.24, 0.30, 0.42 | 0.9 | dry |

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 내부품질 및 기계적 성질 고찰

실험재의 화학성분 분석결과는 Table 3과 같으며 실험재의 기계적 성질은 Table 4와 같다.

Table 3 Chemical composition (wt %)

| component materials | Si | Cu | Mg | Mn | Ni | Pb | Ti |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| AC8B | 10.53 | 2.46 | 0.73 | 0.16 | 0.56 | 0.07 | 0.022 |
| Sample | 10.34 | 3.56 | 1.71 | 0.19 | 0.18 | 0.07 | 0.044 |

Table 4 Mechanical properties

| | AC8B | Sample |
|---------------------------------------|-------|--------|
| Tensile Strength (N/mm ²) | 333.5 | 334.3 |
| Yield Strength (N/mm ²) | 313.2 | 313.5 |
| Elongation (%) | 0.9 | 0.98 |
| Vickers hardness | 150.9 | 150.3 |
| Impact Value (J/cm ²) | 1.14 | 1.15 |

실험재의 화학성분을 분석한 결과 현재 상용되고 있는 AC8B는 KS 규격에 적합한 수준의 성분원소가 함유된 것으로 나타났으며 AC8B를 기준으로 하여 Sample은 AC8B와 비교하여 Cu와 Mg의 함량이 증가하여 고온강도가 증가될 것이며 인장강도와 항복강도 및 연신율이 향상되었고 경도는 비슷하게 나타났다. 또 모든 실험재의 충격치는 KS 규격에 적합하고 비슷한 것으로 나타났다.

따라서 성분원소의 증감에 따라 Sample은 기존에 상용되는 소재와 같이 기계적 성질이 KS 규격에 적합한 수준으로 나타내었다.

현미경조직 관찰결과는 Photo 1과 같다.

모든 실험재의 미세조직은 공정조성 또는 약간의 아공정 조성으로 초정 α수지상 조직이 많이 관찰되며 주조성도 비교적 양호한 것으로 나타났다. 특히 AC 8B를 기준으로 Sample 소재가 초정 α수지상 조직이 특별히 많이 관찰되고 있으며 이것은 CuAl₂, Mg₂Si의 중간상 등의 시효석출에 의한 기지조직의 강화와 함께 공정조직으로 판단되며 이들 화합물의 정출물도 NiAl₂ 정출물과 함께 분산 강화에 의한 고온강도향상에 기여될 것으로 판단된다.

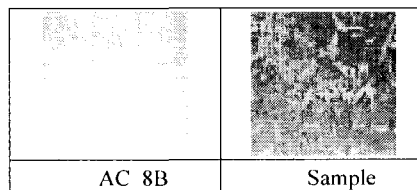


Photo 1 Optical microstructure of tested samples(×250)

4.2 절삭력

Fig. 2는 이송 0.12 mm/rev, 절삭깊이 0.9 mm일 때 절삭속도의 변화에 따른 동력손실의 변화를 나타낸 것이다. 절삭속도가 증가함에 따라 동력손실 또한 증가하는 경향을 보인다. 각 가공물을 비교하여 보았을 때 절삭속도 100m/min일 경우에 AC8B가 동력손실이 적은 경우를 제외하고는 Sample 이 동력손실 면에서 양호하게 나타났다.

Fig. 3은 절삭속도 200 m/min, 절삭깊이 0.9 mm일 때 이송의 변화에 따른 동력 손실을 나타낸 것이다. 이송이 증가함에 따라 동력손실도 증가하는 경향을 나타낸다. 각 가공물의 이송의 변화에 대한 절삭동력의 변화경향에 대하여 Sample이 다른 알루미늄합금보다 약 10 %내외로 양호하게 나타났다.

따라서, 본 연구에서 절삭성 향상을 위하여 성분 원소를 가감한 Sample의 경우가 절삭성 향상면에서 상용의 제품보다 동력손실이 적게 나타남을 알 수 있었다.

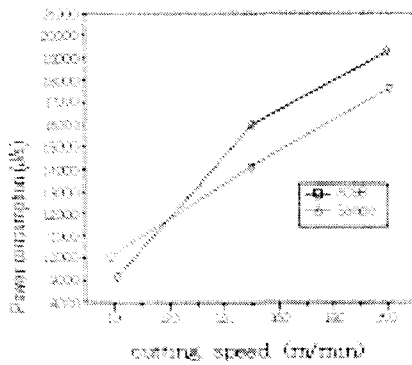


Fig. 2 Comparison of the effect of cutting speed on power consumption for AC8B and sample(feed=0.12 mm/rev, t=0.9mm)

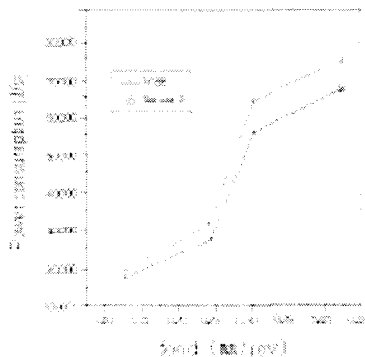


Fig. 3 Comparison of the effect of feed on power consumption for AC8B and sample (cutting speed=200m/min,t=0.9mm)

5. 결론

본 연구에서는 상용화되고 있는 자동차용 소재 가운데 엔진 피스톤에 사용되는 소재를 실험소재로 하여 소재의 금속적 조직 변수들의 효과를 이용한 기존의 각 소재에 대한 장단점을 파악하여 보다 합리적이고 경제적인 소재의 선정과 절삭성 향상에 따른 기준을 제시하고자 제반 실험으로 데이터를 검토 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)소재의 화학성분은 현재 상용되고 있는 AC8B를 기준으로 하여 Sample은 AC8B와 비교하여 Cu와 Mg의 함량이 증가하였고, 실험재의 기계적성질은 KS 규격에 적합한 수준으로 나타내었고, 미세조직은 공정조성 또는 약간의 아공정 조성으로 조정 수 지상 조직이 많이 관찰되며 주조성도 비교적 양호한 것으로 나타났다. AC 8B를 기준으로 Sample이 조정 α 수 지상 조직이 특별히 많이 관찰되고 있으며 이것은CuAl₂, Mg₂Si의 중간상 등의 시효석출에 의한 지지조직의 강화와 함께 공정조직으로 판단되며 이들 화합물의 정출물도 NiAl₂정출물과 함께 분산강화에 의한 고온강도 향상에 기여될 것으로 판단된다.

2)절삭가공실험을 행한 결과 같은 절삭조건에서 sample이 절삭력이 작게 분포하는 것으로 보아 성분 원소의 가감에 의해 절삭력을 줄일 수 있음을 알 수 있었고, 절삭동력에 대하여 고찰한 결과 절삭속도가 증가하고 이송이 감소함에 따라 절삭동력이 적게 필요하다는 것을 알 수 있었으며 절삭력의 경우와 마찬가지로 sample이 절삭동력이 적게 소모되었다.

따라서 자동차용 피스톤 소재로 이용되고 있는 알루미늄합금을 실험소재로 선택하여 가공성을 향상시키는 성분원소의 가감에 의해 가공소재를 제작하여 각 절삭조건에 대하여 실험을 행한 결과 재료의 고유의 성질을 유지하면서 자체 제작한 sample의 절삭성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1)Robert H. Aborn, "Role of Additives in the Machinability of Steel", International symposium on Influence of Metallurgy on Machinability of Steel, Tokyo, pp.381~395, Sep. 1977
- (2)G. Jha, S, Sharma, "Tools & Alloy Steels",No. 1, p.5, 1990
- (3)J. C. Hamann, V. Grolleue, F. Le Maitre, "Machinability Improvement of Steels at High Cutting Speeds Study of Tool/Work Material Interaction" IRP Vol. 45, pp87~92, Jan. 1996
- (4)G. Lucas, Advanced Materials & Processes, Vol. 149, No.5, pp.29~30, 1996
- (5)채왕석, 김경우, 김동현, "니켈 엔진용 캠축소재의 금속적 특성 및 선삭가공 특성에 관한 연구"한국정밀공학회 논문집, 제 14 권, 제 7호