

파이론 금형용 알루미늄 합금의 양극산화 코팅두께에 따른 기계적 특성 평가

김태완*.#

*부경대학교 기계공학과

Evaluation of Mechanical Properties according to Anodized Coating Thickness of Aluminum Alloy for Phylon Molds

Tae-Wan Kim*.#

*Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

(Received 03 November 2020; received in revised form 09 December 2020; accepted 15 December 2020)

ABSTRACT

Phylon molds are widely used for injection molding of foams used in shoe outsoles. Injection phylon molds are usually prepared by first casting the aluminum alloy and then applying an anodized coating to improve durability. This study was carried out to examine the durability of aluminum phylon molds. The aluminum materials used in this study were A771, A6061, and AC4C, and their mechanical properties were compared. Specimens for anodic oxidation tests were prepared with coating thicknesses of approximately 10 and 40 μm . We tried to select the optimum material and coating thickness suitable for fabricating phylon injection molds. Among the three materials, A6061 exhibited the best tensile, wear, and impact properties. The difference in the wear resistance between the soft- and hard-anodized coatings was insignificant.

Key Words : Anodized Surface Treatment(양극산화 표면처리), Phylon Mold(파이론 금형), Aluminum Alloy (알루미늄 합금)

1. 서 론

신발 금형은 높은 내열성과 내마모성을 요구될 뿐만 아니라 세척, 제거, 재코팅이 쉬워야 하며 내구성과 높은 강도를 요구하는 등 극한의 온도와 혹독한 환경 등에 영향을 받는다.^[1] 보통 연속 사용 온도가 180°C 정도 되는데, 이러한 고온 작업

환경에서도 코팅을 통해 소재의 기계적 특성을 유지하여야 한다. 인젝션 파이론 몰드는 통상 알루미늄 A771, AC4C 및 A6061 등으로 주조 성형 후 2차 정밀 가공 및 코팅처리를 한 후 사용된다.^[2]

일반적으로 양극산화 코팅(anodizing coating)은 경질 양극산화 코팅과 연질 양극산화 코팅으로 나눌 수 있다. 경질 양극산화 코팅은 두껍고 단단한 산화피막을 형성해 내마모성이 요구되는 자동차용 피스톤·실린더·방산부품·항공기 부품·오토바이 부품·선박용 부품 등에 사용되며 상대적으로 연한

Corresponding Author : tw0826@pknu.ac.kr

Tel: +82-51-629-6142

연질 양극산화 코팅은 부식방지용·색상을 부여한 장식용·전자부품·기계가공품·내외장재용으로 사용되는 것으로 알려져 있다. 내마모성을 향상시키기 위한 경질 아노다이징 처리 기술 중 가장 중요한 것은 알루미늄 주조합금의 경질산화피막 형성기술 및 균열생성 억제기술로 알려져 있다.³⁻⁶⁾ 알루미늄 주조합금은 기계적 물성이 좋고 복잡한 형상을 쉽게 제조할 수 있어서 부품으로서의 가격경쟁력이 높은 소재이다. 알루미늄 주조합금을 내마모성이 요구되는 부품으로 사용하기 위해서는 균일하고 두꺼운 경질의 양극산화피막이 표면에 형성되어야 한다.

본 연구에서는 신발 금형의 내구성 향상을 위해 인젝션 파이론 몰드용 알루미늄 소재 A771, AC4C 및 A6061에 대해 양극산화 코팅 두께에 따른 기계적 강도 특성과 표면 경도 및 내마모 특성을 실험적으로 평가하여 최적의 소재 및 코팅두께 선정하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 재료

Table 1은 본 실험에서 사용한 주조용 알루미늄 합금 A771, AC4C, A6061 소재의 화학적조성을 나타낸 것이다. A771은 Al-Zn계에 소량의 Mg을 첨가하여 높은 강도를 보이는 주조용 합금이며, AC4C는 Al-Si계에 소량의 Mg을 첨가하여 열처리에 의해 강도향상을 꾀한 주조용 합금으로 압출이나 압연으로 제품을 형상화하기 힘들거나 가공이 어려운 제품일 경우 주로 사용된다. A6061은 Mg와 Si를 주첨가 성분으로 기계적 특성 및 내식성 향상을 위해 Cu, mg, Mn 등을 소량 첨가한 열처리 합금으로 강도 및 내식성이 우수한 특성이 있다. Table 2는 A771, AC4C, A6061 소재들의 기계적 물성치를 비교한 것이다. 세 가지 재료 모두 탄성계수, 프아송비, 전단계수의 차이는 거의 없으나 A6061가 인장 및 항복강도가 가장 높으며 AC4C는 가장 낮은 항복강도를 가지고 A771는 열전도도가 상대적으로 낮으나 세 가지 재료 중 중간 정도의 항복강도를 가짐을 알 수 있다.

2.2 양극산화 코팅

양극산화 알루미늄(Anodic Aluminum Oxide)은 알루미늄 부품을 전해액에서 양극으로 하고 통전하면 양극에 발생하는 산소에 의해서 알루미늄 표면이 산화되어 산화알루미늄(Al_2O_3)의 피막이 생기게 된다. 이 피막은 대단히 단단하고, 내식성이 크며 극히 작은 유공성이 되어 다양한 색상으로 구현 할 수 있으며 내식·내마모성 효과를 얻을 수 있다. 본 실험에서는 양극산화코팅은 황산법으로 유산농도를 15~20(wt%)으로 하였고 20℃~30℃ 범위에서 전압은 DC 13V~15V 이내로 하였다.

Table 1 Chemical composition of A771, AC4C and A6061(%)

	Al	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Cr	other, total
A771	90.4 ~ 92.5	≤ 0.1	≤ 0.15	0.8 ~ 1.0	6.5 ~ 7.5	≤ 0.15	≤ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.06 ~ 0.2	≤ 0.15
AC4C	91.1 ~ 93.2	≤ 0.2	6.5 ~ 7.5	0.2 ~ 0.4	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 0.6	≤ 0.2	≤ 0.05	≤ 0.15
A6061	95.8 ~ 98.6	0.15 ~ 0.4	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 1.2	≤ 0.25	≤ 0.7	≤ 0.15	≤ 0.15	0.04 ~ 0.35	≤ 0.15

Table 2 Mechanical properties of A771, AC4C and A6061

	A771	AC4C	A6061
Elastic modulus(GPa)	71	72.4	69
Poisson ratio	0.33	0.33	0.33
Shear modulus(GPa)	26.5	27.2	26
Density(g/cc)	2.81	2.67	2.7
Tensile strength(MPa)	220	234	240
Yield strength(MPa)	186	165	227
Coefficient of expansion ($\times 10^{-5}/K$)	2.47	2.14	2.4
Thermal conductivity (W/mK)	138	151	154

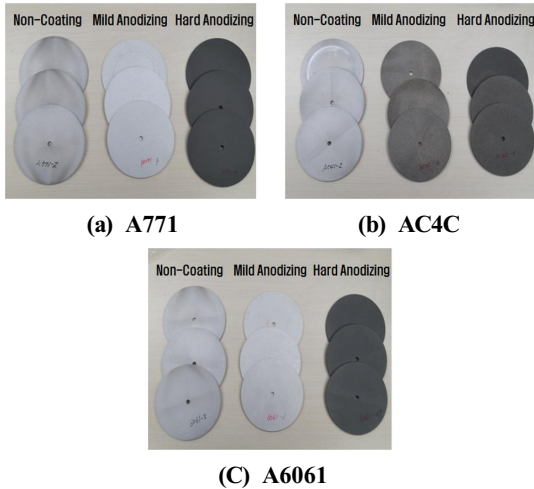


Fig. 1 Anodized coated surface of Aluminum alloys

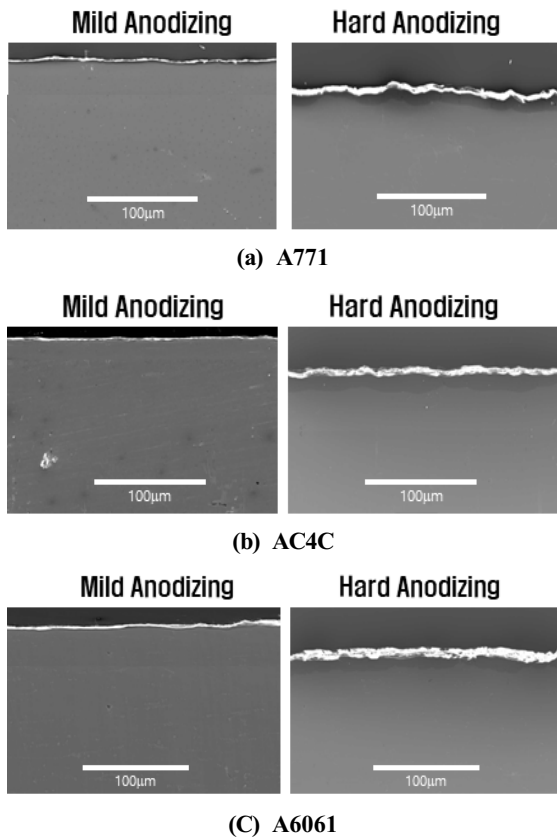


Fig. 2 SEM image for anodized A771, AC4C, and A6061 to measure coating thickness

Table 3 Coating thickness of anodized A771, AC4C, and A6061

Material	A771		AC4C		A6061	
Coating	Mild	Hard	Mild	Hard	Mild	Hard
Thickness (µm)	14	42	9	37	15	43

Fig. 1은 A771, AC4C, A6061 세 가지 시편에 대해 양극산화공정을 수행한 결과를 도시한 것이다. 연질 아노다이징 코팅은 15min 동안 표면처리를 지속한 결과이며 경질 아노다이징 코팅은 60min 동안 처리한 결과이다. Fig. 2와 Table 3은 세가지 시편에 대한 양극산화막의 두께를 측정된 것이다. Table 3에서 보는 바와 같이 연질 아노다이징 코팅의 평균 10µm 정도, 경질 아노다이징코팅의 경우 평균 40µm 정도로 측정되었으며 AC4C의 경우 다른 재질에 비해 코팅 두께가 상대적으로 작음을 확인할 수 있다.

3. 실험 결과

3.1 인장 및 충격 강도 평가

A771, AC4C, A6061 세 가지 시편에 대해 각각 코팅을 적용하지 않은 소재와 연질코팅, 경질 코팅을 한 총 9개의 시편에 대해 고온 인장강도를 측정하였고 아울러 충격강도도 측정하였다. 인장 시험은 ASTM D 618-14 기준으로 Instron 5969 시험기에서 수행하였으며 5mm/min으로 속도로 측정하였고 충격시험은 D 256-10 기준으로 해머용량 15J, H(경칩과괴) 조건으로 수행하였다. 일반적으로 상온 인장강도 및 충격강도는 코팅의 유무에 따른 영향이 없기 때문에 본 연구에서는 코팅을 하지 않은 시편에 대해서만 실험결과를 나타내었다. A6061과 AC4C 재료는 상온인장강도에 비해 고온인장강도는 약 25%정도 낮게 나타났고 A6061재료는 약 15%정도 낮게 나타났다. A6061 재료는 A771 및 AC4C에 비해 상온 및 고온 인장강도가 20-30%정도 높게 나타났고 인장강도는 코팅 유무에 따른 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다. 충격강도 역시 A6061 재료가 A771 및 AC4C에 비해 높게 나타나 강도 측면에서 상대적으로 우수한 것으로 판단된다.

Table 4 Comparison of tensile and fracture strength for A771, AC4C, and A6061

Material	A771			AC4C			A6061		
Coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating
Tensile strength [MPa]	218	←	←	203	←	←	268	←	←
High Temp.(180℃) Tensile strength [MPa]	162	154	161	151	159	151	224	226	228
Fracture strength [J/m]	1782	←	←	653	←	←	3293	←	←

Table 5 Comparison of surface hardness and wear rate for A771, AC4C, and A6061

Material	A771			AC4C			A6061		
Coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating	Non-coating	Mild coating	Hard coating
Surface hardness [HRB]	18.3	22.1	26.2	17.3	20.8	24.2	55.4	62.9	70.2
Wear rate [mg]	36	15	11	32	10	6	41	4	7

3.2 표면 경도 및 내마모도 평가

A771, AC4C, A6061 세 가지 시편에 대해 각각 코팅 유무에 따른 총 9가지 시편에 대한 표면 경도 및 내마모도를 평가하였다.

표면 경도의 측정은 로크웰 경도로 1/16inch 강구로 측정하였으며 마모실험은 ASTM D 3884:2009 기준으로 시험 수행하였으며 적용하중 500g으로 하여 1000 cycle 후의 무게감소량을 측정하여 내마모도를 평가하였다.

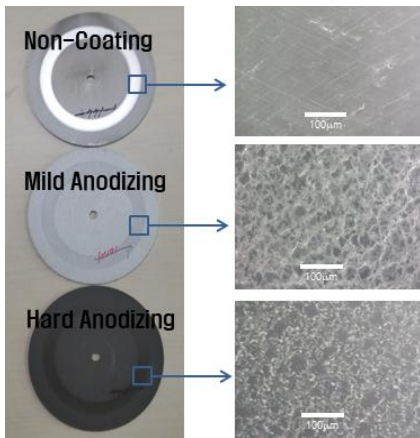
Table 5는 9가지 시편에 대한 표면 경도 및 내마모도를 측정된 결과이다. Non-coating 재료에 비해 아노다이징 코팅의 표면 경도 및 내마모도가 상당히 향상된 것을 확인할 수 있었다. 표면 경도에 대해서는 연질 아노다이징 표면의 경우 코팅하지 않은 표면 대비 약 15~20% 정도, 경질 아노다이징 표면의 경우 코팅하지 않은 표면 대비 약 30~40% 정도의 경도가 증가된 것으로 평가되었다.

Fig. 3은 9가지 시편에 대해 마모실험 후의 표

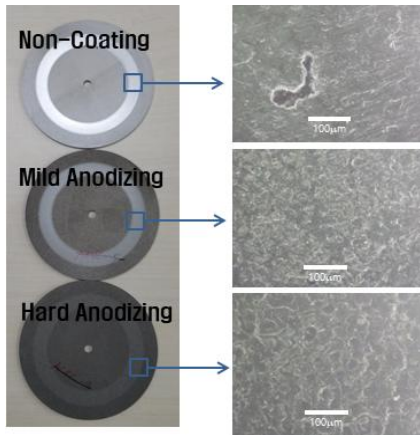
면 상태를 도시하였다. 세 시편 모두 아노다이징 코팅을 하지 않은 경우 연삭 마모 뿐 아니라 피팅(pitting)이나 스폐링(spalling)과 같은 피로 마모도 동반하는 것으로 나타났고 아노다이징 코팅 후의 마모 표면은 이상마모의 형태가 발견되지 않음을 알 수 있다. Table 5의 마모량의 결과를 살펴보면 세 가지 재료 중 A6061재료가 아노다이징 코팅 후의 내마모도 향상도가 가장 높은 것으로 평가되었으며 연질 아노다이징 코팅의 경우와 경질 아노다이징 코팅의 내마모도 차이는 미미한 것으로 판단된다.

4. 결론

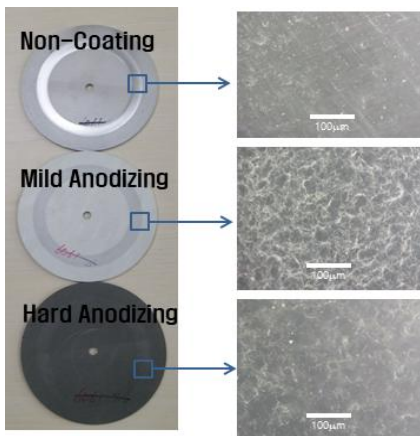
본 연구에서는 인제션 파이론 몰드용 알루미늄 소재 A771, AC4C 및 A6061의 기계적 특성 분석하고 아노다이징 코팅의 영향을 분석하여 최적의 소재 및 코팅두께의 선정하고자 하였다.



(a) A771



(b) AC4C



(c) A6061

Fig. 3 SEM of A771, AC4C and A6061 after wear test

실험 결과 A771 소재는 인장, 내충격, 내마모 시험에서 모두 비교적 우수한 기계적 성능을 나타내는 것으로 판단되며 AC4C 소재는 인장강도가 양호하지만 상대적으로 취성이 큰 관계로 내충격에 약하여 충격강도가 낮은 것으로 판단된다. 또한 AC4C 소재는 다른 소재에 비해 동일 아노다이징 조건에서 얻은 코팅두께가 상대적으로 적으며 코팅 표면 경도도 상대적으로 낮게 나타났다. A6061 소재는 인장, 내마모, 내충격 시험에서 모두 가장 우수한 기계적 성질을 나타내는 것으로 평가되었다. 다만 A6061 소재는 압연용 소재로서 상대적으로 가격이 비싸고 금형용으로 적용하기 위해서는 많은 후가공이 요구되는 단점이 있어 내마모 및 강도가 요구되면서 복잡한 후가공이 필요한 코어 같은 경우 적절한 재료로 사료된다. 아노다이징 코팅에 대해서는 10µm 정도의 연질 코팅에서도 경질 코팅과 유사한 내마모도 성능이 나타남을 확인하였다.

후 기

“본 연구는 부경대학교 자율창의학술연구비 (2019년)에 의하여 연구되었습니다.”

REFERENCES

1. Nautiyal, O., “Molding of EVA Soles Using Expanding and Reducing Agents”, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 4, No. 7, 2012
2. Maejima, M., Saruwatari, K., Isawa, K., Takaya, M., Okada, K., and Matsuo, M., “Abrasion Resistance of Anodized Coatings on Aluminum Alloys Tested with an Abrasive Metal Wheel Wear Tester”, Metal Finishing, Vol. 96, No.10, pp. 38-41, 1998.
3. Gabe, D. R., “Hard anodizing-what do we mean by hard?”, Metal Finishing, Vol. 100, pp. 52-58, 2002.
4. Malayoglu, U., Tekin, K., Malayoglu, U., and

- Shrestha, S., “An investigation into the mechanical and tribological properties of plasma electrolytic oxidation and hard-anodized coatings on 6082 aluminum alloy”, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 528, No. 24, pp. 7451-7460, 2011.
5. Zulaida, Y, Ramadhanisa, A., and Partuti, T, “The Effect of Electrolyte Concentration and Electric Current on the Quality of Surface Coloring on Anodized Aluminum,” *Materials Science Forum*, Vol. 988, pp. 42-47, 2020.
6. Nazemi, A, Abolfazl, A., and Sadiadi, S., “Controlling the anodizing conditions in preparation of an nanoporous anodic aluminium oxide template,” *Materials Science-Pladnd*, Vol. 32, No. 4, pp. 565-570, 2014.