

금속 인서트 몰딩에서 금속의 표면처리에 따른 접착특성

Characteristics of Adhesion According to Metal Surface Treatment in Metal Insert Molding

저자 (Authors)	김세린, 류민영, 장성웅 Se Lyn Kim, Min-Young Lyu, Sung Woong Jang
출처 (Source)	폴리머 41(4), 2017.7, 727-734 (8 pages) Polymer(Korea) 41(4) , 2017.7, 727-734 (8 pages)
발행처 (Publisher)	한국고분자학회 The Polymer Society Of Korea
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07204425
APA Style	김세린, 류민영, 장성웅 (2017). 금속 인서트 몰딩에서 금속의 표면처리에 따른 접착특성. 폴리머, 41(4), 727-734.
이용정보 (Accessed)	서울과학기술대학교 117.17.189.*** 2018/01/16 19:35 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

금속 인서트 몰딩에서 금속의 표면처리에 따른 접착특성

김세린 · 류민영[†] · 장성웅*

서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과, *삼성전자(주)
(2017년 2월 13일 접수, 2017년 3월 16일 수정, 2017년 3월 18일 채택)

Characteristics of Adhesion According to Metal Surface Treatment in Metal Insert Molding

Se Lyn Kim, Min-Young Lyu[†], and Sung Woong Jang*

Department of Product Design and Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

*Mecha Solution Team, Digital Appliances Business, Samsung Electronics,
129 Samsung-ro, Youngtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16677, Korea

(Received February 13, 2017; Revised March 16, 2017; Accepted March 18, 2017)

초록: 플라스틱 제품에 금속질감을 부여하는 방법은 도장, 코팅 그리고 펄수지를 이용한 사출성형 등 다양하다. 여러 방법 중 가장 효과적인 방법은 성형 중에 플라스틱과 금속을 접착시키는 방법이다. 가공된 금속을 금형 내에 넣고 사출하는 금속 인서트 몰딩을 이용하면 공정을 추가하지 않아도 금속과 플라스틱을 접착시킬 수 있다. 그러나 금속 인서트 몰딩에서는 금속과 플라스틱 소재 차이에 따른 이질감과 수축률의 차이로 인해 계면의 접착력이 약화된다. 본 연구에서는 에칭, 샌드 블라스팅, 레이저 가공 등의 다양한 표면처리방법을 사용하여 금속 표면을 가공하고, 인서트 몰딩을 수행한 후 금속과 플라스틱 사이의 접착강도를 평가하였다. 접착강도는 금속의 표면처리에 따라 다양했으며 이는 표면처리를 통해 생성된 표면형상에 크게 의존하였다. 본 실험에서는 레이저의 헤드각도를 조절하여 금속 표면을 가공한 금속과 플라스틱이 가장 좋은 접착강도를 보였다.

Abstract: There exist various methods to give a metallic texture to plastic products. Those are plating, coating, injection with pearl resin, etc. The most effective way among many methods is adhesion of metal and plastics directly through injection molding. Metal and plastics can be attached by metal insert molding after insertion the metal in the cavity of mold without any additional processes. However, the adhesion strength at the interface between metal and plastics can be weakened by shrinkage difference and dissimilar characteristics of two materials. In this study, adhesion strengths for metal insert molded specimens have been investigated with variously surface treated metal plates. Surface treatments of metal surfaces were done by etching, sand blasting, and laser machining. Adhesion strengths were diverse according to the surface treatment of metal and they depended upon surface morphology. In these experiments, the highest adhesion strength was exhibited in the metal insert molded specimen with laser machined metal plate by controlling the head angle of laser.

Keywords: metal insert molding, adhesion strength, etching, sand blasting, laser machining.

서론

외관디자인은 제품의 완성도와 품격을 올리며 최종적으로는 제품의 선택에 기여한다. 제품의 디자인은 기능을 위한 디자인, 생산을 고려한 디자인, 그리고 인간공학적 디자인을 거

쳐 감성디자인으로 발전되어왔다.^{1,2} 특히 현재는 플라스틱 제품에 금속이 가지는 깊이감과 고급스러움을 부여하는 감성디자인이 주목받고 있으며 이에 대한 응용이 다양한 제품에 적용되고 있다.^{3,4} 플라스틱 제품의 표면에 금속 질감을 주는 방법으로는 코팅이나 도장 등의 후가공을 추가하는 방법이 있다.⁵ 그러나 후가공을 추가하는 경우 비용과 생산시간이 증대되고 불량률이 증가하는 등의 단점이 있다. 수지에 알루미늄 플레이크(aluminum flake)를 첨가하여 제조된 펄수지를 이용한 사출성형, 그리고 금속과 플라스틱을 동시에 성형하는 인

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr
©2017 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

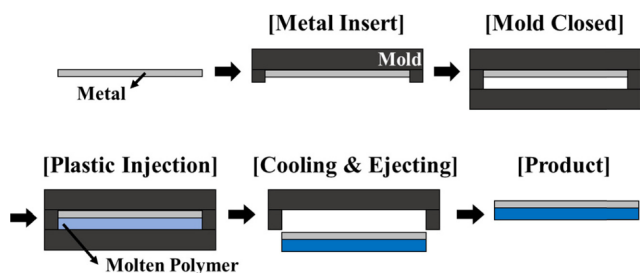


Figure 1. Schematic drawings of metal insert molding process.

서트 몰딩은 후가공이 없이도 플라스틱 제품의 표면에 금속 질감을 주거나 금속을 붙일 수 있는 방법이다. 이 중 금속 인서트 몰딩은 다양한 종류의 금속을 적용할 수 있으며 디자인의 자유도가 높아 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

인서트 몰딩은 Figure 1처럼 원하는 형상으로 가공한 금속을 금형 내에 넣고 그 위에 플라스틱을 사출하여 금속과 플라스틱이 접착되어 있는 제품을 생산하는 방법이다.⁶ 인서트 몰딩에서 금속과 플라스틱의 접착강도를 향상시키는 방법은 크게 세가지로 요약할 수 있다. 첫번째는 금속표면에 접착제를 도포한 후 인서트 몰딩을 수행하는 것이다. 그러나 이 방법은 사출성형 중에 발생하는 높은 온도에 의해 접착제의 기능이 저하되거나 접착제가 녹아서 성형 중에 흘러갈 수 있다는 단점이 있어 큰 접착력을 얻는 것에는 한계를 가진다.^{7,8}

두번째는 금속표면의 표면에너지(surface energy)를 높이는 방법이다. 표면에너지란 최외각원자에서 내부원자와 결합하지 못하고 외부의 다른 원자와 결합할 수 있게 남아있는 부분(broken bond)이 가지는 결합에너지(extra energy)를 모두 합한 것을 말한다. 표면에너지와 접착력은 비례하는 관계를 갖는다.^{9,10} 그러나 스테인리스강(stainless steel) 등의 합금강의 표면에는 부동태 피막 등의 이물질 분자막이 생성되어 있기 때문에 표면의 젖음성(wettability)이 저하되어 표면에너지가 낮다. 따라서 합금강과 플라스틱과의 접착력을 높이기 위해서는 금속의 표면처리를 통해 표면 에너지를 높이는 방법을 고려해 볼 수 있다.

금속과 플라스틱의 접착력을 향상시키는 세번째 방법은 금속의 표면적(surface area)을 증가시키는 것이다. 본래의 금속 표면은 그 구조가 치밀하고 매끈하다. 따라서 인서트 몰딩에서 사출압이나 보압만으로 플라스틱 수지가 금속표면의 구조 사이사이에 들어가 접착면적을 넓히는 것은 불가능하다. 따라서 금속의 표면을 거칠게 가공함으로써 금속의 표면적을 넓히고 금속과 플라스틱 사이의 충분한 접착면적을 확보해야 한다.⁷ 그러나 금속의 표면거칠기가 커진다고 해서 그에 비례하여 접착력이 좋아지는 것은 아니다. 표면거칠기가 커더라도 금속 표면이 수지가 잘 흘러 들어갈 수 없는 형상(morphology)일 경우 접착은 여전히 어렵다. ‘장미꽃잎효과(rose petal effect)’와 같은 이유로 수지가 금속 표면구조 사

이에 수지가 들어가지 못한 채 금속 위에 떠있게 되기 때문이다.^{11,12} 즉, 금속 인서트 몰딩에서는 금속의 표면적을 넓히는 것뿐만 아니라 홈의 크기를 조절함으로써 금속과 플라스틱 사이의 최대 접착면적을 확보하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 금속의 표면을 가공하는 과정에서 생성되는 표면형상은 접착면적을 넓히는 기능 외에도 플라스틱을 잡아주는 앵커효과(anchor effect) 기능을 한다. 앵커효과가 커지면 금속과 플라스틱의 기계적 결합력이 우수해진다고 볼 수 있다.¹³⁻¹⁶ 그러나 인서트 몰딩에서 금속과 플라스틱의 접착에 대한 체계적이고 과학적인 연구가 부족하며 제품의 응용에도 한계가 있는 현실이다.

본 연구는 금속 인서트 몰딩에서 접착제를 사용하지 않고 금속과 플라스틱의 접착력을 향상시키기 위한 연구이다. 금속표면의 표면 에너지를 높이는 방법과 접착면적을 넓히는 방법을 연구하였다. 에칭으로 금속의 피막을 제거하여 표면에 에너지를 높였으며 에칭 이외에도 샌드 블라스팅, 레이저 가공 등의 다양한 표면처리방법을 단독, 그리고 복합적으로 사용하여 금속의 표면적을 넓혔다. 각 표면처리방법에 따라 제작된 금속시편을 사용하여 인서트 몰딩을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 금속은 스테인리스 스틸이고 플라스틱 수지는 PC와 ABS, 그리고 ABS에 유리섬유(glass fiber)가 포함된 수지이다. 인서트 몰딩으로 제작된 시편을 사용한 접착력 테스트를 진행하였으며 각 표면처리방법에 따른 금속과 플라스틱의 접착강도를 파악하고 비교하였다.

실 험

재료. 본 연구에서 사용한 수지는 ABS(STAREX HG-0760, 제일모직)와 ABS에 유리섬유를 30% 함유한 수지(STAREX GR-4030, 제일모직), 그리고 PC(LEXAN 141R, SABIC)이다. 금속시편은 스테인리스 스틸(Steel Use Stainless(SUS)) 슈트(두께 0.4 mm)를 사용하였다.

실험모델. ASTM D1002 규격을 참고하여 전단응력에 저항하는 접착강도를 시험할 수 있는 형상을 고안하였다. 금속과 플라스틱이 결합된 최종시편 형상은 Figure 2(a)와 같다. 시편 전체 크기는 294.3×35.4 mm이며 금속과 플라스틱 시편의 두께는 각각 0.4, 3.0 mm이다. 최종 시편의 금속과 플라스틱 형상은 각각 Figure 2(b)와 2(c)에 나타나 있다. 먼저 금속시편을 금형 속에 삽입하고 사출성형을 수행하여 최종적으로 Figure 2(a)와 같은 시편을 제작하였다.

금속표면처리. 에칭(Etching): 에칭은 산 또는 알칼리용액의 화학적 작용에 의해 금속이 부식되는 것을 이용한 방법이다. 화학적 부식작용으로 인해 금속 표면에 굴곡진 형상이 나타난다.¹⁷ 에칭 과정의 모식도가 Figure 3에 나타나 있다. 본 연구에서는 에칭 용액 종류를 다르게 하여 부동태 피막이 제거된 세가지의 금속시편을 제작하였다. 사용된 에칭 용액은

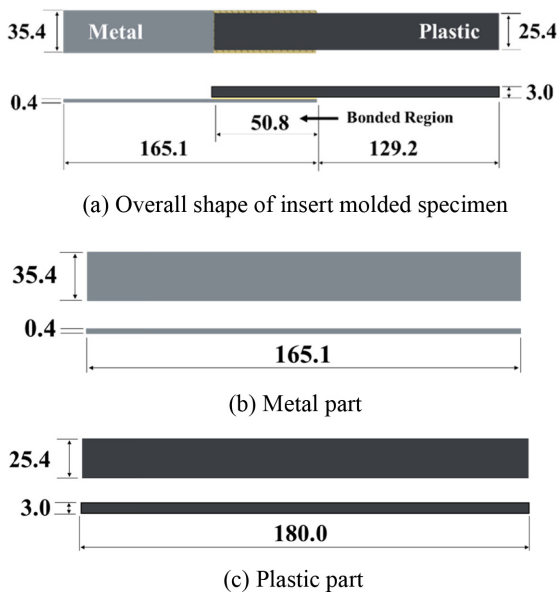


Figure 2. Specimen for adhesion test.

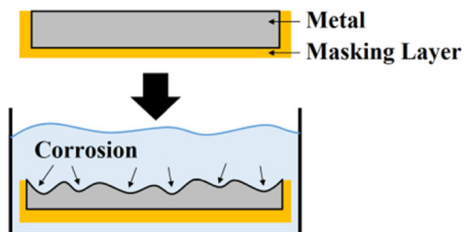


Figure 3. Schematic drawing of etching process.

Table 1. Etching Solutions Used in This Study

Solution	Content of Etching Solution
Solution 1	HCl: H ₂ SO ₄ : H ₂ O = 1: 2: 5
Solution 2	Oxalic Acid (C ₂ H ₂ O ₄ ·2H ₂ O)
Solution 3	Sodium dichromate (Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O)

Table 1에 나타나 있다. 에칭시간은 10-15분이 소요되었으며 표면에 10-20 μm 깊이의 홈들이 형성되었다.

샌드 블라스팅(Sand Blasting). 샌드 블라스팅은 대상 물체에 연마 입자를 분사시켜 표면에 형상을 생성하는 방법이다. 연마 입자의 크기와 분사 각도 등을 조절하여 생성되는 표면 형상을 변화시킬 수 있다. 샌드 블라스팅 과정의 모식도가 Figure 4에 나타나 있다. 본 연구에서는 헤드각도를 90°로 고정하고 가공깊이를 다르게 하며 세가지 종류의 금속시편을 제작하였다. 첫번째 시편은 지름 20 μm 입자를 사용해 1 μm 깊이로 가공하였다. 두번째 시편은 250 μm 의 입자를 사용해 13 μm 깊이로 가공하였다. 그리고 세번째 시편은 13 μm 의 깊이로 가공한 후 1 μm 깊이로 재가공하는 두 단계의

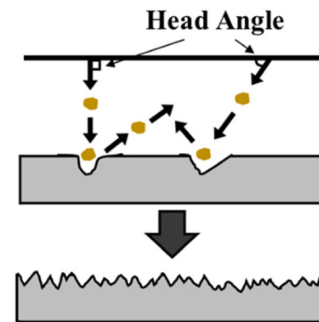


Figure 4. Schematic drawing of sand blasting process.

샌드 블라스팅으로 가공하였다.

에칭 후 샌드 블라스팅: 화학적 표면처리 방법인 에칭과 물리적 표면처리 방법인 샌드 블라스팅 두가지의 표면처리 방법을 단계적으로 실시한 금속시편을 제작하였다. 먼저 에칭 후 샌드 블라스팅하여 가공한 시편을 제작하였다. 에칭만 단일 처리한 경우에는 가공깊이가 10-20 μm 정도로 거의 피막만 제거하는 정도였다. 그러나 본 시편 제작에서는 가공깊이를 60-70 μm 로 증가시켜 에칭으로 인해 금속 표면에 특정 형상이 생성되게 하였다. 샌드 블라스팅에서는 헤드각도에 따라 금속표면에 생성되는 형상이 달라진다.¹⁸ 따라서 가공깊이는 샌드 블라스팅만 단일 처리한 경우와 동일하게 유지하고 헤드각도를 60°, 75°, 90°로 변화시키며 가공한 금속시편을 제작하였다.

샌드 블라스팅 후 에칭: 본 시편제작은 에칭 후 샌드 블라스팅과 동일한 표면처리 조건으로 순서만 바꾼 경우이다. 즉 샌드 블라스팅 후 에칭을 수행하여 금속시편을 제작하였다.

레이저 가공(Laser Machining): 레이저 가공은 레이저라는 특수한 빛에서 변환된 열에너지를 이용해 대상 물체를 국부적으로 용융시키는 가공방법이다. 레이저 가공의 모식도가 Figure 5에 나타나 있다. 금속을 화학적으로 부식시키는 에칭을 이용해 가공깊이를 증가시키려면 오랜 시간이 투자되어야 하는 문제가 발생한다. 물리적 방법인 샌드 블라스팅을 이용할 경우에도 깊은 가공을 위해 입자크기를 키워 분사하는 과정에서 충격에 의해 금속시편이 변형되는 문제가 발생한다. 레이저 가공은 대상 물체를 국부적으로 가열해 가공하는 방

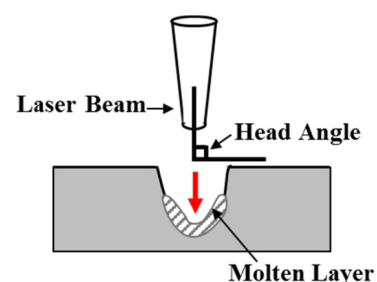
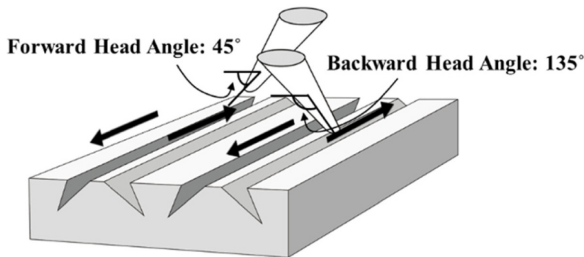


Figure 5. Schematic drawing of laser machining process.

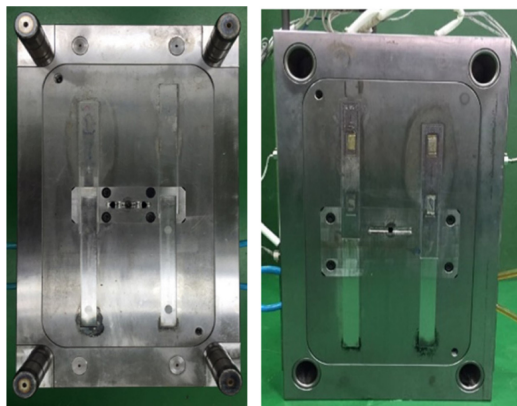
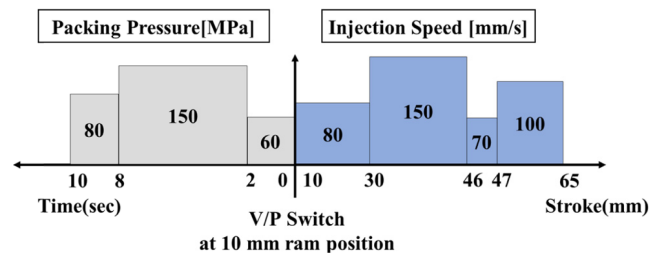
Table 2. Detail Condition of Laser Machining

Machining path	Head angle
Right angle cross	45°
	90°
Parallel line	45°, 135°
Diagonal cross	45°

**Figure 6.** Line path of laser machining.

법이기 때문에 금속시편 전체에 가해지는 부담이 적다. 따라서 가공깊이를 증가시키기 용이한 레이저 가공을 이용하여 약 100 μm 의 깊이로 가공된 금속시편을 제작하였다. 가공경로와 헤드각도를 조절하여 금속시편을 제작하였으며 Table 2에 레이저 가공 조건이 나타나 있다. 그리고 Figure 6에 일차교차에 대한 가공경로가 나타나 있다. 이 때 일차교차는 일차 라인을 가공할 때 한 줄씩 45°, 135°의 헤드각도로 번갈아가며 가공하는 것을 말한다.

금속 인서트 몰딩. 제작된 금속시편을 이용하여 인서트 몰딩을 수행해 접착력 테스트를 위한 최종시편을 제작하였다. 본 연구에서 사용한 인서트 몰딩 금형이 Figure 7에 나타나 있다. Figure 8은 금속 인서트 몰딩의 공정조건이다. 사출기는 우진플라임의 TE110으로 형체력은 80 ton이고, 스크류 직경은 32 mm이다. 사출온도는 260 °C, 금형온도는 고정측 금형에 카트리지 히터를 사용하여 80 °C로 설정하였고 가동측

**Figure 7.** Mold for the metal insert molding.**Figure 8.** Injection molding condition for metal insert molding.

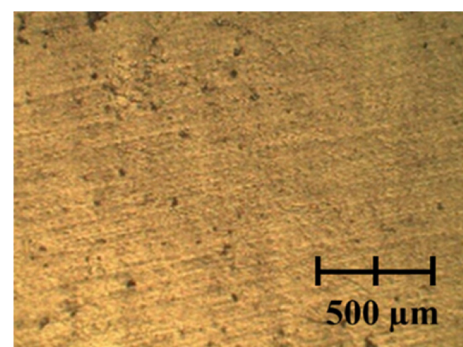
은 상온(25 °C)으로 설정하였다. 그리고 사출속도는 150 mm/s, 보압은 3단계로 10초 동안 적용하였다.

결과 및 토론

에칭 시편. 에칭된 금속시편을 사용하여 인서트 몰딩을 수행하였다. 수지는 유리섬유가 30 wt% 첨가된 ABS를 사용하였다. 수지에 유리섬유가 첨가되면 금속과 플라스틱의 수축률 차이가 줄어들기 때문에 수축률 차이에 의해 발생하는 금속과 플라스틱 계면의 전단응력이 줄어드는 경향이 있다.^{14,19,20} 에칭 시편의 접착력 테스트 결과 세가지 에칭 조건 모두에서 금속과 플라스틱이 접착되지 않았다(Table 3). Figure 9는 에칭되기 전 금속시편의 표면을 광학현미경(optical microscope)으로 촬영한 사진이고 Figure 10은 에칭 처리된 후의 세가지 종류의 금속시편 표면을 광학현미경으로 촬영한 사진이다. 에칭을 거친 금속 표면에 얼룩진 무늬가 생성되어 있다. 금속의 피막이 제거되었음을 알 수 있다. 본 실험을 통하여 단순

Table 3. Tensile Test Results Using Etched Metal Specimens

Solution	Resin	Adhesion strength (kPa)
Solution 1	ABS+GF(30 wt%)	NA
Solution 2		NA
Solution 3		NA

**Figure 9.** Photo of metal surface before surface treatment (×100 view, optical microscope).

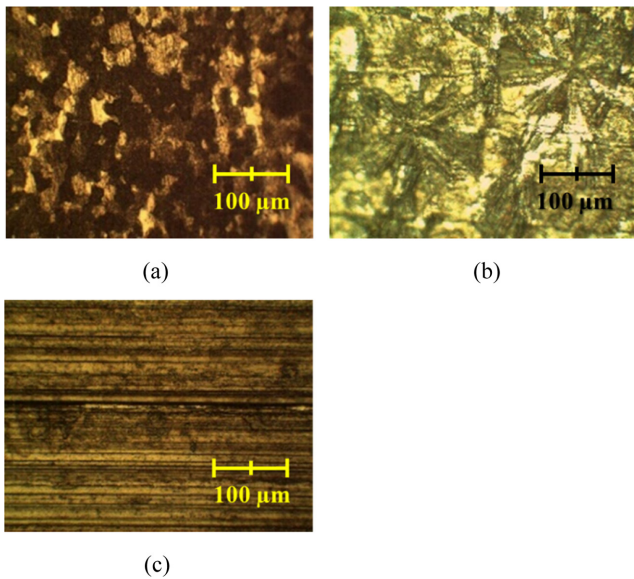


Figure 10. Photo of etched metal surface: (a) etching with solution 1; (b) etching with solution 2; (c) etching with solution 3 ($\times 500$ view, optical microscope).

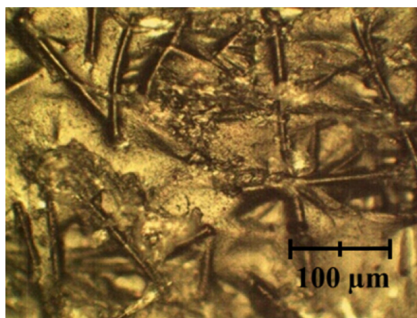


Figure 11. Photo of plastic (30 wt% glass fiber filled, ABS) surface in bonded region after tensile test ($\times 500$ view, optical microscope).

히 금속피막을 제거함으로써 분자간의 상호작용을 증가시키는 것으로는 금속과 플라스틱 사이에 충분한 접착력을 얻기 어렵다는 것을 알 수 있다. 수지에 첨가된 유리섬유에서도 에칭된 금속과 플라스틱이 충분히 접착되지 않은 원인을 찾을 수 있다. Figure 11은 금속과 플라스틱이 맞닿아 있던 부분의 플라스틱 면을 촬영한 것이다. 표면에 유리섬유가 많이 노출되어 있는 것을 확인할 수 있다. 유리섬유를 첨가하면 금속과 플라스틱 계면에 발생하는 전단응력이 감소되기는 하지만 유리섬유가 자체가 표면에 돌출되어 금속과 플라스틱의 접착을 방해한 것으로 보인다.

샌드 블라스팅 시편. 샌드 블라스팅으로 표면 처리된 금속시편을 이용하여 인서트 몰딩을 수행하였다. 수지는 유리섬유가 30 wt% 첨가된 ABS를 사용하였다. 인서트 몰딩 후 인장시험 결과 가공깊이 1 μm 조건과 13 μm 조건, 그리고

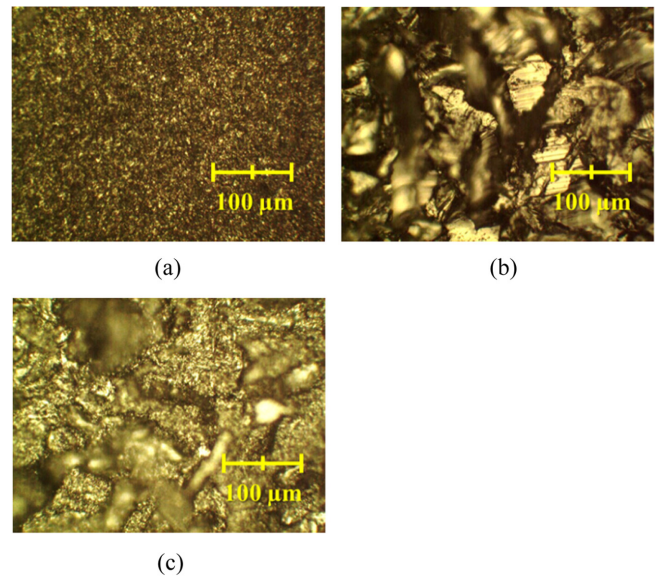


Figure 12. Photo of sand blasted metal surface: (a) finished surface with 1 μm depth; (b) finished surface with 13 μm depth; (c) finished surface with 13 μm depth and 1 μm depth ($\times 500$ view, optical microscope).

13 μm 깊이로 가공한 후 1 μm 깊이로 재가공하는 총 3가지 조건 모두에서 금속과 플라스틱이 접착되지 않았다. Figure 12는 샌드 블라스팅된 금속시편의 표면을 광학현미경으로 촬영한 것이다. 에칭된 금속시편보다 전체적으로 거칠다. 1 μm 깊이로 가공된 금속시편의 표면거칠기(Ra)는 0.08 μm 이고, 13 μm 깊이로 가공된 금속시편의 표면거칠기(Ra)는 3.643 μm 로 13 μm 깊이로 가공한 경우 표면이 더 거칠다. Figure 12(c)는 13 μm 의 깊이로 가공 후 1 μm 깊이로 재가공한 금속시편의 표면을 촬영한 것이다. Figure 12(a)와 12(b) 형상을 겹쳐놓은 것처럼 거친 형상 사이사이에 작은 형상들이 가공되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 표면형상을 가진 금속과 플라스틱 사이가 접착되지 않은 것으로 보아 샌드 블라스팅을 통해 금속표면에 크고 작은 형상들이 가공되고 이에 따라 표면적은 넓어졌으나 충분한 접착을 형성하기에는 부족한 것으로 보인다. 또한 에칭의 경우와 마찬가지로 수지에 첨가된 유리섬유가 금속과 플라스틱이 밀착되는 것을 방해하면서 접착부가 쉽게 분리되게 된 것으로 보인다.

에칭 후 샌드 블라스팅 시편. 인서트 몰딩 후 인장시험 결과가 Table 4에 나타나 있다. 본 실험에서는 유리섬유가 접착력에 미치는 영향을 배제하기 위하여 수지는 neat ABS와 neat PC를 사용하여 인서트 몰딩을 수행하였다. ABS의 경우 금속과 플라스틱이 약하게 접착되었으나 PC의 경우에는 세 가지 표면처리 조건 모두에서 금속과 플라스틱이 접착되지 않았다. Figure 13은 샌드 블라스팅만 처리된 금속표면의 광학현미경 촬영사진이고 Figure 14는 에칭 후 샌드 블라스팅

까지 거친 금속표면의 광학현미경 촬영사진이다. 에칭 후 샌드 블라스팅까지 처리된 금속표면에서는 초점의 차이가 있는 것으로 보아 형상의 고저가 다소 큰 것으로 판단된다. 에칭 후의 금속표면은 에칭 용액의 부식 작용에 의해 피막이 제거되어 외부자극에 취약해져 있는 상태이다. 이러한 표면상태 위에 샌드 블라스팅이 행해지면서 샌드 블라스팅이 더욱 효과적으로 적용되었을 것이다. 그러나 에칭 후 샌드 블라스팅을 거치더라도 금속표면에 여전히 에칭으로 형성된 넓고 완만한 형상이 유지되어 있는 것으로 보인다. ABS를 사용한 시

편의 접착강도가 PC를 사용한 시편의 접착강도보다 훨씬 우수하다. 이는 ABS와 PC의 흐름성 차이에 기인한 것으로 보인다. 흐름성이 좋은 ABS는 금속 표면형상 사이로 잘 흘러 들어가며 금속 표면과 비교적 넓은 접착면적을 확보했을 것이다. 그러나 흐름성이 좋지 못한 PC는 금속 표면형상 사이로 흘러 들어가지 못한 채 그대로 냉각되며 불충분한 접착면적을 확보했을 것으로 판단된다. 헤드각도에 따른 접착강도 차이를 보면 헤드각도를 90°로 하여 가공한 금속시편과 ABS의 접착강도가 가장 높았고 헤드각도가 75°인 경우에 접착강도가 가장 낮았다.

샌드 블라스팅 후 에칭 시편. 인서트 몰딩 후 인장시험 결과가 Table 5에 나타나 있다. 에칭 후 샌드 블라스팅 금속의 인서트 몰딩과 마찬가지로 수지는 ABS와 PC를 사용하여 인서트 몰딩을 수행하였다. 헤드각도를 75°로 하여 샌드 블라스팅 후 에칭한 금속시편과 ABS와의 약한 접착을 제외한 타 조건에서는 금속과 플라스틱이 전혀 접착되지 않았다. Figure 15는 에칭으로만 처리된 금속표면의 광학현미경 촬영사진이고 Figure 16은 샌드 블라스팅 후 에칭까지 거친 금속표면의 광학현미경 촬영사진이다. 에칭 후 샌드 블라스팅한 Figure 14와 다르게 Figure 16에는 밝고 어두운 부분이 선명하다. 에칭만 처리한 Figure 15와 크게 다르지 않다. 에칭을 거치면서 샌드 블라스팅을 통해 생성되었던 표면형상들이 부드럽게 깎

Table 4. Tensile Test Results Using Sand Blasted Metal Specimens after Etching

Etching Solution	Sand blasting Head angle	Resin	Adhesion strength (kPa)
HCl: H ₂ SO ₄ : H ₂ O =1: 2: 5	60°	ABS	302.28
		PC	NA
	75°	ABS	243.95
		PC	NA
	90°	ABS	344.89
		PC	NA

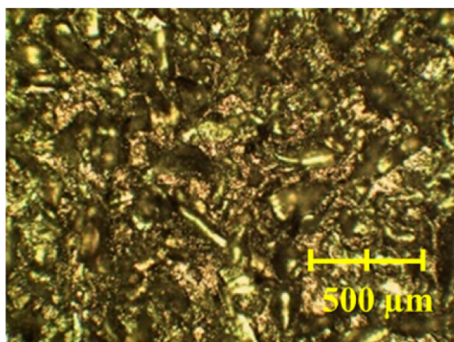


Figure 13. Photo of sand blasted (head angle: 90°) metal surface (×100 view, optical microscope).

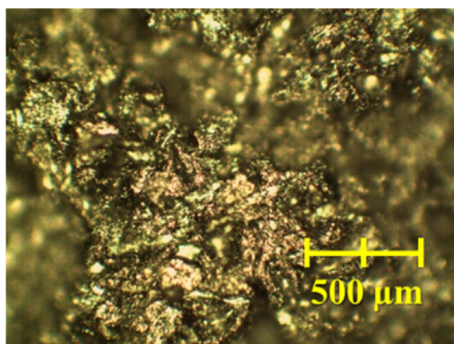


Figure 14. Photo of sand blasted (head angle: 75°) metal surface after etching (×100 view, optical microscope).

Table 5. Tensile Test Results Using Etched Metal Specimens after Sand Blasting

Sand blasting	Etching	Resin	Adhesion strength (kPa)
Head angle	Solution		
60°	HCl: H ₂ SO ₄ : H ₂ O =1: 2: 5	ABS	NA
		PC	NA
75°		ABS	48.61
		PC	NA
90°		ABS	NA
		PC	NA

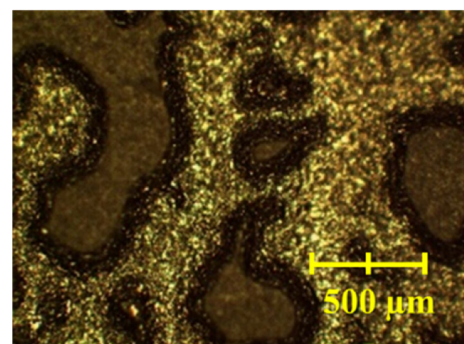


Figure 15. Photo of etched metal surface (×100 view, optical microscope).

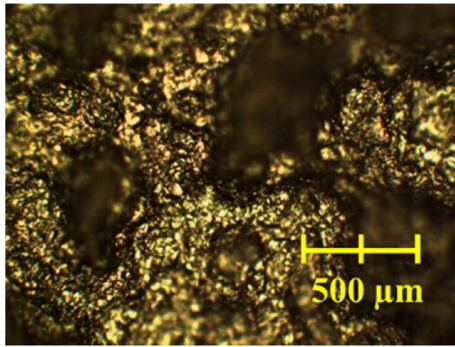


Figure 16. Photo of etched metal surface after sand blasting (head angle: 75°) ($\times 100$ view, optical microscope).

여진 까닭으로 보인다. 이로 인해 금속과 플라스틱의 접착력이 약화된 것으로 보인다. 헤드각도에 따른 접착강도의 차이를 보면 헤드각도를 75°로 하여 가공한 금속시편과 ABS가 유일하게 접착되었다. 에칭 후 샌드 블라스팅, 또는 샌드 블라스팅 후 에칭을 거친 금속과 플라스틱의 접착력 테스트 결과를 종합해보면 헤드각도에 따라 접착강도의 차이가 발생했다고 보기는 어렵다고 판단된다.

레이저 가공(Laser Machining) 시편. 레이저 가공된 금속시편을 사용하여 인서트 몰딩 후 인장시험한 결과가 Table 6에 나타나 있다. 수지는 30 wt%의 유리섬유가 첨가된 ABS를 사용하였다. 헤드각도가 45° 또는 135°일 때 가공경로에 관계없이 이전의 표면처리를 사용한 결과보다 월등히 향상된 접착강도를 보였다. 헤드각도가 90°인 경우는 접착이 이루어지지 않았다. Figures 17-20은 레이저로 가공된 금속의 표면을 광학현미경과 3차원 측정기(Nano3D, A&I)를 이용해 촬영한 것이다. 직각으로 교차하는 경로로 가공된 표면은 레이저 헤드의 각도가 45°(Figure 17)인 경우 표면에 거친 형상이 만들어 졌으나 90°(Figure 18)인 경우에는 표면에 거친 형상이 나타나지 않았다. 그리고 평행한 경로로 45°와 135°의 헤드 각도로 가공된 표면(Figure 19)은 표면이 깊고 거칠게 관찰되었다. 접착면적이 넓어졌을 뿐 아니라 깊고 거칠어진 금속표면에 유리섬유가 들어갈 공간이 만들어졌다. 이에 따라 유리섬유가 접착을 방해하는 영향이 감소하였고 유리섬유를 포함한 수지를 사용했음에도 높은 접착강도가 얻어진 것으로

Table 6. Tensile Test Results Using Laser Machining

Machining path	Head angle	Resin	Adhesion strength (kPa)
Right angle cross	45°	ABS+GF (30 wt%)	1471.91
	90°		NA
Parallel line	45°, 135°	(30 wt%)	701.86
Diagonal cross	45°		936.46

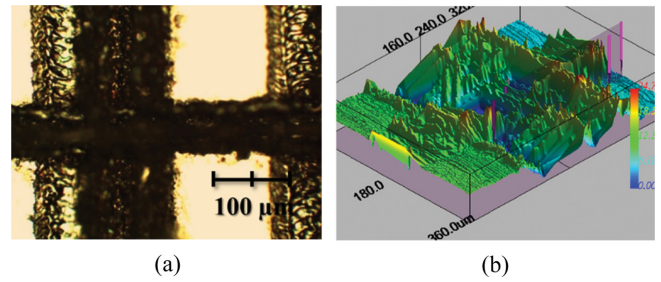


Figure 17. Photo of laser machined metal surface for right angle cross with 45° of head angle: (a) photo of optical microscope ($\times 500$ view); (b) Nano 3D view (480 $\mu\text{m} \times 360 \mu\text{m}$).

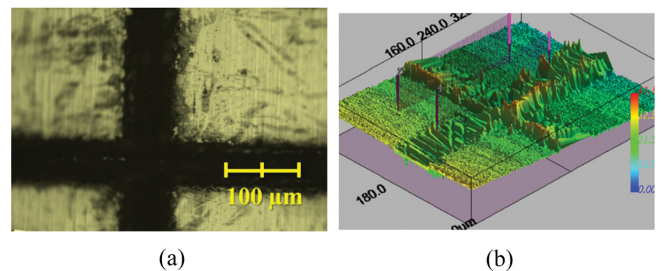


Figure 18. Photo of laser machined metal surface for right angle cross with 90° of head angle: (a) photo of optical microscope ($\times 500$ view); (b) Nano 3D view (480 $\mu\text{m} \times 360 \mu\text{m}$).

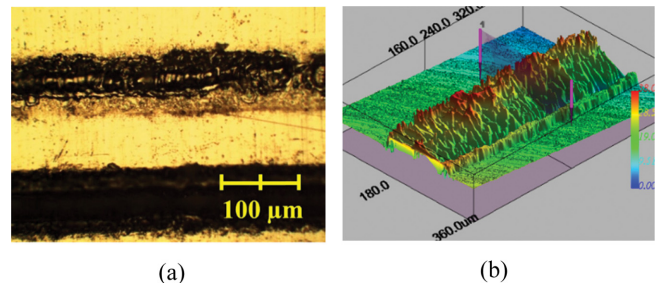


Figure 19. Photo of laser machined metal surface for parallel line with 45° and 135° of head angle: (a) photo of optical microscope ($\times 500$ view); (b) Nano 3D view (480 $\mu\text{m} \times 360 \mu\text{m}$).

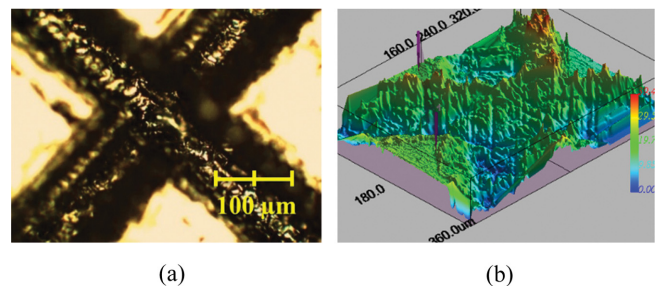


Figure 20. Photo of laser machined metal surface for diagonal cross with 45° of head angle: (a) photo of optical microscope ($\times 500$ view); (b) Nano 3D view (480 $\mu\text{m} \times 360 \mu\text{m}$).

보인다.²¹ 대각선으로 교차하는 경로로 가공된 표면(Figure 20)은 거칠게 관찰되지 않았다.

결 론

금속과 플라스틱의 접착력 향상을 위하여 금속표면을 에칭, 샌드 블라스팅, 그리고 레이저로 가공을 하였다. 이를 이용하여 인서트 몰딩으로 제작된 시편에서 각 표면처리 조건에 따른 접착강도를 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 에칭으로 피막을 제거한 세가지 종류의 금속시편과 유리섬유를 30 wt% 포함한 ABS와의 접착력 테스트 결과 에칭 용액의 종류와 관계없이 금속과 플라스틱이 접착되지 않았다. 단순히 금속과 플라스틱 분자간 상호작용을 용이하게 하는 것으로는 충분한 접착력을 얻을 수 없음을 알 수 있다.

(2) 샌드 블라스팅한 금속시편과 유리섬유를 30 wt% 포함한 ABS와의 접착력 테스트 결과 블라스팅 조건에 관계없이 금속과 플라스틱이 접착되지 않았다. 이는 금속에 충분한 접착면적이 확보되지 못했고 에칭의 경우와 마찬가지로 수지 속의 유리섬유가 금속과 플라스틱의 접착을 방해한 것으로 판단된다.

(3) 에칭과 샌드 블라스팅 두가지의 표면처리를 연속적으로 적용한 금속시편과 ABS와 PC의 접착력 테스트 결과 에칭 후 샌드 블라스팅을 실시한 금속시편과 ABS와의 접착강도가 가장 높았다. 에칭으로 인해 취약해진 금속 표면으로 샌드 블라스팅이 효과적으로 가해진 것으로 보인다. 그리고 생성된 표면 형상사이로 흐름성이 좋은 ABS가 잘 침투하면서 접착면적이 넓어졌기 때문으로 판단된다.

(4) 레이저를 이용해 표면을 가공한 금속시편과 유리섬유를 30 wt% 포함한 ABS와의 접착력 테스트 결과 헤드 각도를 45° 또는 135°로 비스듬하게 가공한 경우 가공경로에 관계없이 이전의 표면처리 방법보다 월등히 높은 접착강도를 보였다. 특히 헤드 각도를 45°로 직각교차로 가공한 경우 가장 높은 접착을 보였다.

금속과 플라스틱의 접착강도를 높이기 위해서는 가공깊이를 키워 거칠며 접착면적을 증가시키는 것이 중요함을 알 수 있다. 더 확실한 방법은 금속표면에 플라스틱을 잡아줄 수 있는 언더컷 형상을 만드는 것이 효과적이라 판단된다. 그러나 본 연구에 쓰인 0.4 mm의 얇은 금속쉬트같은 경우에는

가공할 수 있는 깊이에 한계가 있다. 따라서 앞으로 얇은 금속판에도 언더컷 형상을 부여하여 금속과 플라스틱이 충분한 접착을 형성할 수 있도록 하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글: 본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다(10051680, 3D 프린팅용 친환경 고강도 고분자 소재 개발).

참 고 문 헌

1. S. -S. Choi, *Sci. Emot. Sensib.*, **11**, 645 (2008).
2. J. Chang, *Human Computer Interaction*, **33** (2007).
3. S. L. Kim, T. G. Choi, H. S. Cho, M.-Y. Lyu, J. Lim, and S. Lee, *Polym. Korea*, **40**, 871 (2016).
4. B. D. Pell, E. Sulic, W. S. T. Rowe, K. Ghorbani, and S. John, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **59**, 434 (2011).
5. H. Y. Kim, M.-Y. Lyu, and J. G. Choi, *Trans. Mater. Process.*, **18**, 156 (2009).
6. N. M. Zain, S. H. Ahmad, and E. Suzana, *Int. J. Adhes. Adhes.*, **55**, 43 (2014).
7. Y. Kim and S. Kil, *J. Korean Weld. Join. Soc.*, **34**, 31 (2016).
8. P. K. Ghosh, *Polymer*, **87**, 159 (2016).
9. S. H. Seo, S. Chang, Y. -E. Yoo, and J. D. Chung, *Trans. of the KSME, B*, **35**, 445 (2011).
10. I. Galanakis, G. Bihlmayer, V. Bellini, N. Papanikolaou, R. Zeller, S. Blügel, and P. H. Dederichs, *Europhys. Lett.*, **58**, 751 (2002).
11. A. F. Harris and A. Beevers, *Int. J. Adhes. Adhes.*, **19**, 445 (1999).
12. C. Ochoa-Putman and U. K. Vaidya, *Compos. Part A-Appl. Sci. Manuf.*, **42**, 906 (2011).
13. Y. Seo, *Polym. Sci. Technol.*, **13**, 759 (2002).
14. D. M. Moon, T. G. Choi, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **38**, 708 (2014).
15. M. Tahara, N. K. Cuong, and Y. Nakashima, *Surf. Coat. Tech.*, **173**, 826 (2003).
16. R. Prat, T. Suwa, M. Kogoma, and S. Okazaki, *J. Adhesion*, **66**, 163 (1998).
17. J. E. Curran, *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **14**, 393 (1981).
18. S. Amada and T. Hirose, *Surf. Coat. Tech.*, **102**, 132 (1998).
19. M. Lee and M.-Y. Lyu, *Elast. Compos.*, **48**, 300 (2013).
20. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **36**, 677 (2012).
21. G. Lucchetta, F. Marinello, and P. F. Bariani, *CIRP Ann.-Manuf. Techn.*, **60**, 559 (2011).