



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년05월12일  
(11) 등록번호 10-2109127  
(24) 등록일자 2020년05월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B29C 65/34 (2006.01) B29C 65/00 (2018.01)  
(52) CPC특허분류  
B29C 65/3476 (2013.01)  
B29C 65/3404 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0021298  
(22) 출원일자 2018년02월22일  
심사청구일자 2018년02월22일  
(65) 공개번호 10-2019-0101227  
(43) 공개일자 2019년08월30일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020160077796 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
한밭대학교 산학협력단  
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)  
(72) 발명자  
김정한  
[Redacted]  
(74) 대리인  
특허법인오암

전체 청구항 수 : 총 10 항

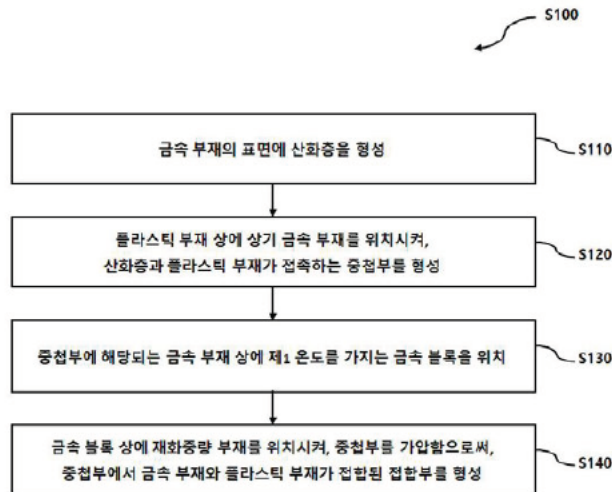
심사관 : 이진아

(54) 발명의 명칭 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법

(57) 요약

본 발명은, 금속과 플라스틱 사이에 강하고 견고하고 균일한 접합부를 형성하는 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 금속과 플라스틱의 접합방법은, 플라스틱 부재 상에 금속 부재를 위치시켜, 상기 금속부재와 상기 플라스틱 부재가 접촉하는 중첩부를 형성하는 단계; 상기 중첩부에 해당되는 상기 금속 부재 상에 제1 온도를 가지는 금속 블록을 위치시키는 단계; 및 상기 금속 블록 상에 재화중량 부재를 위치시켜, 상기 중첩부를 가압함으로써, 상기 중첩부에서 상기 금속 부재와 상기 플라스틱 부재가 접합된 접합부를 형성하는 단계;를 포함하며, 상기 접합부에 해당하는 상기 플라스틱 부재에 기포 생성을 방지하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
B29C 66/7212 (2013.01)  
B29C 66/742 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌  
KR101732167 B1\*  
KR1020140130202 A\*  
JP2010260174 A  
JP2006123545 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711056922
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(미래부)
연구과제명	레이저 빔 스캐닝 법을 이용한 나노구조 산화물분산강화(ODS)/RAFM강 클래딩 판재 제조
기여율	1/1
주관기관	한밭대학교
연구기간	2017.07.01 ~ 2018.06.30
공지예외적용	: 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

플라스틱 부재 상에 금속 부재를 위치시켜, 상기 금속부재와 상기 플라스틱 부재가 접촉하는 중첩부를 형성하는 단계;

상기 중첩부에 해당되는 상기 금속 부재 상에 제1 온도를 가지는 금속 블록을 위치시키는 단계; 및

상기 금속 블록 상에 재화중량 부재를 위치시켜, 상기 중첩부를 가압함으로써, 상기 중첩부에서 상기 금속 부재와 상기 플라스틱 부재가 접합된 접합부를 형성하는 단계;를 포함하며,

상기 중첩부 형성단계 이전에, 상기 금속 부재의 표면에 다공성 산화층을 형성하는 단계를 더 포함하고,

상기 금속 블록의 열이 상기 금속 블록으로부터 금속 부재로, 이어서 플라스틱부재로 열이 전달되며,

상기 산화층은 상기 금속 블록의 열이 상기 산화층에 의해 상기 금속 부재로부터 상기 플라스틱 부재로 열이 전달되는 것이 느려지게 하며, 상기 산화층이 기포를 외부로 배출시켜 상기 접합부에 해당하는 상기 플라스틱 부재에 기포 생성을 방지하는 것을 특징으로 하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 산화층을 형성하는 단계는,

400 내지 600 °C에서 0 분 초과 내지 20 분간 어닐링하는 것을 특징으로 하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

#### 청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 산화층은 0.1 내지 5  $\mu\text{m}$  범위의 두께를 가지는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제1 온도는 400°C 내지 600°C 범위인, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 접합부 형성 단계시,

0.1 내지 0.3 MPa로 가압하는 것을 특징으로 하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 금속 블록은 구리 합금, 알루미늄 합금 및 탄소강 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 금속 부재는 알루미늄 합금, 티타늄 합금 및 마그네슘 합금 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

상기 금속 부재는 AZ31 마그네슘 합금을 포함하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 플라스틱 부재는 열가소성 수지와 탄소섬유가 포함된 탄소섬유 강화 플라스틱을 포함하는, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 열가소성 수지는 열가소성 폴리우레탄 및 폴리아미드 중에서 선택된 하나 이상인, 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 기술 개발이 급격해짐에 따라, 다른 성질의 물질들을 서로 접합한 접합부를 형성하여 공학 구조물 및 기계 구성요소를 제조할 필요가 있다. 대부분의 응용처들에서, 한 종류의 물질을 이용하여 높은 강도, 높은 부식 저항, 높은 전도성, 높은 인성 및 경량성과 같은 특유의 특성들에 대한 요구를 충족하기 어렵다. 따라서, 다른 특성들을 가지는 다른 물질들을 접합시킴으로써, 이러한 요구를 충족할 가능성이 있다. 특히, 자동차 기술이나 항공기 기술과 같은 높은 성능을 요구하는 기술분야에서는 요구되는 특별한 특성들을 가지도록 물질을 개선할 필요가 있는 분야에서 중요하며, 더 나아가 연료 소모 감소를 위하여 경량성을 요구한다. 고분자 물질인 플라스

틱들은 높은 부식 저항, 높은 성형성 및 경량성 등과 같이 요구되는 특성을 충족할 수 있다 [1]. 특히, 탄소섬유 강화 플라스틱과 같은 폴리머 복합재들은 높은 피로 강도, 높은 부식 저항 및 높은 무게 대 강도 비율과 같은 추가적인 특성들을 제공할 수 있다 [2-6]. 반면, 마그네슘과 같은 금속들은 높은 열전도성, 우수한 주조성 및 용이한 재활용성을 제공할 수 있다 [7,8]. 따라서, 금속과 플라스틱이 접합된 접합부를 더 강하고, 견고하고 균일하게 형성하기 위한 기술 개발이 요구된다.

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

[0003]

- (비특허문헌 0001) [1] R.J. Crawford, *Plastics Engineering*, 3rd edition, Butterworth-Heinmann, Oxford, 1998, pp. 1-40.
- (비특허문헌 0002) [2] L. Ye, Y. Lu, Z. Su, G. Meng, Functionalized composite structures for new generation airframes, a review, *Compos. Sci. Technol.* 65 (2005) 1436-1446.
- (비특허문헌 0003) [3] P. Beardmore, C.F. Johnson, The potential for composites in structural automotive applications, *Compos. Sci. Technol.* 26 (4) (1986) 251-281.
- (비특허문헌 0004) [4] T. Roberts, Rapid growth forecast for carbon fibre market, *Reinf. Plast.* 51 (2007) 10-13.
- (비특허문헌 0005) [5] K.L. Edwards, An overview of the technology of fibre-reinforced plastics for design purposes, *Mater. Des.* 19 (1998) 1-10.
- (비특허문헌 0006) [6] H. Adam, Carbon fibre in automotive applications, *Mater. Des.* 18 (1997) 349-355.
- (비특허문헌 0007) [7] K.U. Kainer, F. Von Buch, The current state of technology and potential for further development of magnesium applications, in: *Magnesium Alloys and Technol.*, Wiley-VCH, Weinheim, 2003, pp. 1-22.
- (비특허문헌 0008) [8] B.L. Mordike, T. Ebert, Magnesium: properties-applications-potential, *Mater. Sci. Eng. A* 302 (2001) 37-45.
- (비특허문헌 0009) [9] R.W. Messler, *Joining of Materials and Structures*, Butterworth-Heinmann, Oxford, 2004, pp. 722-730.
- (비특허문헌 0010) [10] S.T. Amancio Filho, Development and analysis of a new joining technique for polymer-metal multi-material structures, *Weld. World* 55 (2011) 13-24.
- (비특허문헌 0011) [11] S.B. Kumar, I. Sridhar, S. Sivashanker, S.O. Osiyemi, A. Bag, Tensile failure of adhesively bonded CFRP composite scarf joints, *Mater. Sci. Eng. B* 11 (2006) 113-120.
- (비특허문헌 0012) [12] J. Li, Y. Yan, T. Zhang, Z. Liang, Experimental study of adhesively bonded CFRP joints subjected to tensile loads, *Adhes. Adhes.* 57 (2015) 95-104.
- (비특허문헌 0013) [13] S. Katayama, Y. Kawahito, Laser direct joining of metal and plastic, *Scr. Mater.* 59 (2008) 1247-1250.
- (비특허문헌 0014) [14] Y. Kawahito, Y. Niwa, T. Terajima, S. Katayama, Laser direct joining of glassy metal Zr55Al10Ni5Cu30 to engineering plastic polyethylene terephthalate, *Mater. Trans.* 51 (2010) 1433-1436.
- (비특허문헌 0015) [15] M. Wahba, Y. Kawahito, S. Katayama, Laser direct joining of AZ91D thixomolded Mg alloy and amorphous polyethylene terephthalate, *Mater. Process. Technol.* 211 (2011) 1166-1174.
- (비특허문헌 0016) [16] P. Mitschang, R. Velthuis, M. Didi, Induction spot welding of metal-CFRP hybrid joints, *Adv. Eng. Mater.* 15 (2013) 804-813.
- (비특허문헌 0017) [17] F. Balle, G. Wagner, D. Eifler, Ultrasonic metal welding of aluminium sheets to carbon fibre reinforced thermoplastic composites, *Adv. Eng. Mater.* 11 (2009) 35-39.

(비특허문헌 0018) [18] C. Ageorges, L. Ye, Resistance welding of metal/thermoplastic composite joints, *Thermoplast. Compos. Mater.* 14 (2001) 449-475.

(비특허문헌 0019) [19] S.T. Amancio-Filho, C. Bueno, J.F. dos Santos, N. Huber, E. Hage, On the feasibility of friction spot joining in magnesium/fiber reinforced polymer composite hybrid structures, *Mater. Sci. Eng. A* 528 (2011) 3841-3848.

(비특허문헌 0020) [20] P.S. Ho, Chemistry and adhesion of metal polymer interfaces, *Appl. Surf. Sci.* 42 (1989) 559-566.

(비특허문헌 0021) [21] J.P. Kim, H.U. Lee, J.E. Yang, J.S. Bae, E.S. Park, J.H. Yoon, J.M. Kim, C.R. Cho, Effect of plasma treatment on chemical bonding states of porous TiO<sub>2</sub> thin films prepared from polymer-blended solution, *Thin Solid Films* 519 (2011) 6916-6919.

(비특허문헌 0022) [22] A. Landragin, J.Y. Courtois, G. Labeyrie, N. Vansteenkiste, C.I. Westbrook, A. Aspect, Measurement of the Van der Waals force in an atomic mirror, *Phys. Rev. Lett.* 77 (1996) 1464-1467.

(비특허문헌 0023) [23] K. Pilakoutas, S. Hafeez, S. Dritsos, Residual bond strength of polymer adhesive anchored reinforcement subjected to high temperatures, *Mater. Struct.* 27 (1994) 527-531.

(비특허문헌 0024) [24] K.W. Jung, Y. Kawahito, S. Katayama, Laser direct joining of carbon fibre reinforced plastic to stainless steel, *Sci. Technol. Weld. Join.* 16 (2011) 676-680.

(비특허문헌 0025) [25] H.W. Coleman, W.G. Steele, *Experimentation, Validation, and Uncertainty Analysis for Engineers*, John Wiley & Sons, United States, 2009, pp. 48-50.

(비특허문헌 0026) [26] K.W. Jung, Y. Kawahito, M. Takahashi, S. Katayama, Laser direct joining of carbon fiber reinforced plastic to zinc-coated steel, *Mater. Des.* 47 (2013) 179-188.

(비특허문헌 0027) [27] The materials project-reaction calculator. <https://www.materialsproject.org/apps/reaction-calculator/>.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 금속과 플라스틱 사이에 강하고 견고하고 균일한 접합부를 형성하는 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 제공하는 것이다.

[0005] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

### 과제의 해결 수단

[0006] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법은, 플라스틱 부재 상에 금속 부재를 위치시켜, 상기 금속부재와 상기 플라스틱 부재가 접촉하는 중첩부를 형성하는 단계; 상기 중첩부에 해당되는 상기 금속 부재 상에 제1 온도를 가지는 금속 블록을 위치시키는 단계; 및 상기 금속 블록 상에 재화중량 부재를 위치시켜, 상기 중첩부를 가압함으로써, 상기 중첩부에서 상기 금속 부재와 상기 플라스틱 부재가 접합된 접합부를 형성하는 단계;를 포함하며, 상기 접합부에 해당하는 상기 플라스틱 부재에 기포 생성을 방지하는 것을 특징으로 한다.

[0007] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 중첩부 형성 단계 이전에, 상기 금속 부재의 표면에 산화층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0008] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 산화층은 다공성인 것일 수 있다.

[0009] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 산화층을 형성하는 단계는, 400 내지 600 °C에서 0 분 초과 내지 20 분간 어닐링하는 것일 수 있다.

- [0010] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 산화층은 0.1 내지 5  $\mu\text{m}$  범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 제1 온도는 400 $^{\circ}\text{C}$  내지 600 $^{\circ}\text{C}$  범위일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 접합부 형성 단계시, 0.1 내지 0.3 MPa 로 가압하는 것일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 금속 블록은 구리 합금, 알루미늄 합금 및 탄소강 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 금속 부재는 알루미늄 합금, 티타늄 합금 및 마그네슘 합금 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 금속 부재는 AZ31 마그네슘 합금을 포함하는 것일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 플라스틱 부재는 열가소성 수지와 탄소섬유가 포함된 탄소섬유 강화 플라스틱을 포함하는 것일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 열가소성 수지는 열가소성 폴리우레탄 및 폴리아미드 중에서 선택된 하나 이상인 것일 수 있다.

**발명의 효과**

- [0018] 본 발명의 기술적 사상에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법은 새로운 물질을 접합하는 방법으로서 고온 금속 압축법을 적용하였다. 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP) 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트를 접합하기 위하여 고온 금속 압축 방법의 실행, 특성 및 메커니즘을 연구하였다. 본 발명의 효과를 검토하기 위하여, 두 종류의 AZ31 마그네슘 합금 시트를 준비하였다. 하나는 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트이고, 다른 하나는 다른 유지 시간으로 어닐링하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트이다. 어닐링에 의하여 마그네슘 합금의 표면에 형성된 산화층은 접합부의 결합 강도에 중대한 영향을 줄 수 있다. 인장 전단 시험 결과에서는, 산화층을 포함하는 경우에는 접합부가 대략 5.1 kN의 높은 강도를 나타내었다. 산화층을 형성하지 않은 경우에는, 접합 계면에 인접한 탄소섬유 강화 플라스틱의 기포 형성 및 분리가 접합부에서 관찰되었으나, 산화층을 형성한 경우에는 이러한 기포나 분리가 관찰되지 않았으며, 이는 기계적 강도의 향상에 기여할 수 있다. 또한, 어닐링을 하는 경우에는, 접합부의 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 내로 산화층이 성장하였고, 이에 따라 접합 강도를 매우 증가시키는 기계적 고정 효과의 가능성을 제공하는 것으로 분석된다.
- [0019] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 설명하는 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법에 사용된 금속 부재 및 플라스틱 부재의 미세 구조를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 도 1의 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 수행하는 장치를 도시하는 개략도이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합부의 주사전자현미경 사진들이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 전면과 후면을 나타내는 사진들이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 어닐링 시간에 대한 인장 전단 하중을 나타내는 그래프이다.
- 도 7 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합부의 주사전자현미경 사진들이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 사진들이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 주사전자현미경 사진 및 EDS 맵핑 결과이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 파괴된 표면에 대한 X-선 광전자 분광 분석을 나타내는 그래프들이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진들이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 EDX 원소 맵핑이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다.

도 18은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 암시야 투과전자현미경 사진 및 EDX 분석이다.

도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다.

도 20은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 EDX 원소 맵핑이다.

도 21은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다.

도 22는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 암시야 투과전자현미경 사진 및 EDX 분석이다.

도 23은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체에 대한 고온 금속 압축 접합 기술의 메커니즘을 설명하는 모식도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다. 본 명세서에서, "AZ31"은 AZ31 마그네슘 합금 시트를 지칭하는 약어로서 사용되고, "CFRP"는 탄소섬유 강화 플라스틱 시트를 지칭하는 약어로서 사용됨에 유의한다.

[0022] 본 발명의 기술적 사상은 고온 금속 압축(hot metal pressing, HMP)으로 알려진 새로운 물질 접합 기술에 관한 것으로서, 서로 다른 물질들, 예를 들어 금속과 플라스틱을 접합하는 기술에 관한 것이다.

[0023] 물질을 접합하는 기술로서, 기계적인 잠금 [9], 지지부를 사용(staking), 크림핑(crimping), 및 마찰을 이용한 리벳팅 등과 같은 기계적 접합 기술을 이용할 수 있다 [10]. 또한, 물질을 접합하는 다른 기술로서 접착식 접합 기술이 있으며, 예를 들어 폴리우레탄, 아크릴, 및 에폭시 등과 같은 접착제를 사용할 수 있다 [11,12]. 그러나, 물질을 접합하기 위한 상술한 기계적 접합 기술과 접착식 접합 기술은 한계가 있다. 예를 들어 기계적 접합부에 천공이나 드릴링하여 구멍을 형성하는 추가 작업이 필요할 수 있고, 접합을 위하여 장시간이 필요할



수 있고, 접합부의 강도가 불균일할 수 있고, 엄격한 제어될 필요가 있고, 또한 접착 결함을 위한 비싼 접착제를 사용할 필요가 있다.

- [0024] 이와 같은 종래의 물질 접합 기술의 한계를 극복하기 위하여, 효율적, 효과적, 및 신뢰성있는 물질 접합 기술들이 개발되어 왔다. 새로운 접합 기술로서, 레이저를 이용한 금속-플라스틱의 직접 접합 기술(laser-assisted metal and plastic direct joining, LAMP), [13-15], 유도 점용접 기술[16], 초음파 금속 용접 기술 [17], 저항 용접 기술 [18] 및 마찰 점접합 기술 [19] 등을 포함할 수 있다. 이들 중에, 가우시안 빔을 가지는 연속 Nd:YAG 레이저를 이용하거나, 선형 빔을 가지는 연속 다이오드 레이저를 이용하는 등과 같은 상기 레이저를 이용한 금속-플라스틱의 직접 접합 기술이 가장 유명하며, 그 이유는 화학적 결합 [20-22], 물리적 결합 [13,14,22] 및 기계적 결합 [23]에 의하여 더 강한 접합부를 형성할 수 있기 때문이다. 이러한 레이저를 이용한 금속-플라스틱의 직접 접합 기술을 이용한 종래의 결과는 연속 파동 디스크 레이저를 이용하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 3 mm 스테인리스 강관을 접합하였고, 이에 따라 4.8 kN의 인장 전단 하중을 가지는 중첩 접합부를 형성하였다 [24].
- [0026] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법(S100)을 설명하는 흐름도이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 금속과 플라스틱의 접합방법(S100)은, 금속 부재의 표면에 산화층을 형성하는 단계(S110); 플라스틱 부재 상에 상기 금속 부재를 위치시켜, 상기 산화층과 상기 플라스틱 부재가 접촉하는 중첩부를 형성하는 단계(S120); 상기 중첩부에 해당되는 상기 금속 부재 상에 제1 온도를 가지는 금속 블록을 위치시키는 단계(S130); 및 상기 금속 블록 상에 재화중량 부재를 위치시켜, 상기 중첩부를 가압함으로써, 상기 중첩부에서 상기 금속 부재와 상기 플라스틱 부재가 접합된 접합부를 형성하는 단계(S140);를 포함한다.
- [0028] 상세하게, 상기 산화층을 형성하는 단계(S110)에서, 어닐링 온도는 400 내지 600 °C이고, 어닐링 시간은 0 분 초과 내지 20 분간 수행할 수 있다. 상기 어닐링 온도와 어닐링 시간을 만족하는 경우, 상기 산화층은 0.1 내지 5 μm, 보다 좋게는 1 내지 3 μm 두께로 형성될 수 있다.
- [0029] 본 발명에서, 상기 산화층은 상기 제1 온도를 가지는 열이 상기 금속 부재로부터 플라스틱 부재로 급격히 전달되는 것을 방지하는 역할을 한다. 상기 산화층은 기포가 생성되는 것을 방지하며, 이로 인해 접합계면의 간극, 크랙 등을 방지하게 된다.
- [0030] 또한, 상기 산화층은 상기 접합부 형성 단계(S140) 시, 상기 플라스틱 부재 내부로 성장할 수 있다. 즉, 상기 산화층은 상기 플라스틱 부재 내부로 성장된 가지 형상의 가지부를 가질 수 있다. 상기 가지부는 상기 플라스틱 부재와 상기 금속 부재를 보다 강하게 고정시키는 효과가 있다.
- [0031] 한편, 본 발명에 따른 상기 산화층은 다공성 산화층일 수 있다. 즉, 상기 산화층이 다공성인 경우, 상기 접합부 형성 단계시, 기포가 외부로 배출시키는 통로와 같은 역할을 할 수 있다. 이에 따라, 본 발명은 상기 산화층을 구비함으로써 기포를 제거할 수 있기 때문에 금속 부재와 플라스틱 부재 간의 접합력을 향상시킬 수 있다.
- [0033] 본 발명을 상술함에 있어, 상기 금속 블록은 열전도도와 고온 내구성이 좋은 금속을 사용할 수 있다. 구체적인 일 예로, 상기 금속 블록은 구리 합금, 알루미늄 합금 및 탄소강 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0034] 본 발명을 상술함에 있어, 상기 금속 부재는 내식성, 강성 등이 우수한 산화막을 형성할 수 있는 금속 또는 합금이면 족하다. 구체적인 일 예로, 상기 금속 부재는 알루미늄 합금, 티타늄 합금 및 마그네슘 합금 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0035] 본 발명을 상술함에 있어, 상기 플라스틱 부재는 열에 의해 용융되어 상기 금속부재와 접합할 수 있으면서 높은 강도를 가지는 것이면 좋다. 상기 플라스틱 부재는 열가소성 수지와 탄소섬유가 포함된 탄소섬유 강화플라스틱(CFRP)을 포함할 수 있다.
- [0036] 구체적인 일 예로, 상기 열가소성 수지는 유리 전이 온도가 약 120 내지 160°C이고, 용점이 약 350 내지 450 °C 일 수 있다. 바람직한 일 예로 상기 열가소성 수지는 열가소성 폴리우레탄, 폴리이미드, PA6 소재 중 어느 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다.
- [0038] 실험 방법
- [0039] 상기 금속 부재로서 AZ31 마그네슘 합금 시트를 선택하였다. 상기 AZ31 마그네슘 합금은 이중 롤 스트립 캐스

팅 공정을 수행한 후에 가역적 증온 밀(reversible warm mill)을 통하여 압연하여 형성하였고, 두께가 2.0 mm 이었다. 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트의 화학 조성은 무게비로 2.9% Al, 0.75% Zn, 0.33% Mn, 0.03% Si, 및 잔부는 Mg 이었다.

[0040] 상기 플라스틱 부재로서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트를 선택하였다. 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트는 열가소성 폴리우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU)과 대략 7 mm 길이 및 15 μm 직경을 가지는 잘게 잘린 탄소섬유들의 긴 섬유 펠렛을 포함한 플라스틱 매트릭스로 구성되었다. 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트는 두 개의 층을 가지는 탄소섬유 직조체(fabric)를 이용하여 오토클레이브에서 제조되었다. 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 유리 전이 온도는 대략 143℃ 이었고, 용융 온도는 397℃ 이었다.

[0041] 기계적 연마를 종료한 후에, 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트와 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 미세구조들을 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트는 100 ml 에탄올, 5 g 피크르산, 5 ml 아세트산 및 10 ml 탈이온수를 포함하는 용액을 이용하여 약 15초 동안 식각하였다. 식각을 종료한 후에, 식각된 AZ31 마그네슘 합금 시트를 끓는 에탄올에 침지하여 식각 후에 표면에 형성된 식각 용액층을 제거하였다.

[0042] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법에 사용된 금속 부재 및 플라스틱 부재의 미세 구조를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

[0043] 도 2에서, (a)는 AZ31 마그네슘 합금 시트이고, (b)와 (c)는 탄소섬유 강화 플라스틱 시트이다.

[0044] 도 2를 참조하면, 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트는 쌍정 구조들을 가지는 재결정 입자들로 충전된 형태의 미세 구조를 가지며, 이질적인 입자들을 가진다. 상기 입자들의 평균 입자 크기는 대략 18 μm 이었다. 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트는 플라스틱 매트릭스 내에서 특유의 패턴으로 배열된 탄소섬유들을 가지는 미세구조를 나타내었다.

[0045] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 도 1의 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법(S100)을 수행하는 장치를 도시하는 개략도이다. 상기 장치는 고온 금속 압축법을 수행할 수 있다.

[0046] 도 3을 참조하면, 기저 강판의 크기는 150 mm x 90 mm x 10 mm 이다. 또한, 두 개의 고정판은 60 mm x 20 mm x 10 mm의 크기를 가지고, 각각 두 개의 관통홀들을 가진다. 상기 금속 부재로서 AZ31 마그네슘 합금 시트와 상기 플라스틱 부재로서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트를 알코올을 이용하여 세정한 후에, 상기 기저 강판 상에 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 상에 AZ31 마그네슘 합금 시트를 적층하고 40 mm의 증첩부를 가지도록 증첩부를 형성하도록 배열한다. 이어서, 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트와 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트를 상기 고정판을 이용하여 압착시킨다. 이러한 압착은 상기 고정판의 상기 관통홀에 볼트를 삽입시키고, 각각의 볼트에 120 N cm의 토크를 인가하여 수행할 수 있다.

[0047] 이어서, 40 mm x 50 mm x 60 mm의 크기를 가지는 구리로 구성된 금속 블록과 20 kg의 재화중량 부재(dead weight)를 준비한다. 상기 금속 블록은 약 15분 동안 가열되어, 예를 들어 400℃, 500℃ 및 600℃ 와 같은 목표 온도에 도달하게 한다. 이어서, 상기 AZ31 마그네슘 합금 시트와 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 증첩부 상에 상기 가열된 금속 블록을 위치시킨다. 이어서, 20 kg의 재화중량 부재를 이용하여 약 5 분 동안 금속 블록에 압력을 즉시 인가한다. 추가적으로, 상기 금속 블록으로부터 상기 재화중량 부재로의 열전달을 방지하도록, 상기 금속 블록과 상기 재화중량 부재 사이에 절연체가 개재될 수 있다. 이에 따라, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트가 접합된 금속-플라스틱 접합체를 형성한다.

[0048] 참고로, AZ31 마그네슘 합금 시트는 별도의 공정에서 산화층을 형성하도록 어닐링 처리한 실시예와 산화층을 형성되지 않은 비교예로 준비한다. 이하 실시예에서, 어닐링은 일반적인 전기로에서 수행되었으며 상압, 대기 중에서 진행되었다. 상세하게, 상기 어닐링은 산소를 함유한 산화분위기에서 500 ℃를 유지하면서 1 분 내지 20 분 사이에서 수행하였다.

[0049] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 금속-플라스틱 접합체를 형성하는 경우의 실험 조건들을 나타내는 표이다.

표 1

금속-플라스틱 접합체 명칭	금속 블록 온도 (℃)	어닐링 시간(분)
HMP(A0, A1, A2, A3, A4)	400	0, 2, 5, 10, 20
HMP(B0, B1, B2, B3, B4)	500	0, 2, 5, 10, 20

HMP(C0, C1, C2, C3, C4)	600	0, 2, 5, 10, 20
-------------------------	-----	-----------------

- [0051] 표 1을 참조하면, HMPA는 금속 블록 온도가 400℃ 인 경우이고, HMPB는 금속 블록 온도가 500℃ 인 경우이고, HMPC는 금속 블록 온도가 600℃ 인 경우이다. HMPA0, HMPB0, 및 HMPC0은 산화되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 경우이고, HMPA1, HMPB1, 및 HMPC1은 2 분의 어닐링을 수행하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 경우이고, HMPA2, HMPB2, 및 HMPC2은 5 분의 어닐링을 수행하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 경우이고, HMPA3, HMPB3, 및 HMPC3은 10 분의 어닐링을 수행하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 경우이고, HMPA4, HMPB4, 및 HMPC4는 20 분의 어닐링을 수행하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 경우이다.
- [0052] 이어서, 범용 인장 시험기(Instron-5982, 최대 하중은 100 kN 임)를 이용하여 실온에서 금속-플라스틱 접합체에 대한 인장 전단 시험을 수행하였다. 상기 인장 전단 시험을 위하여, 상기 AZ31 마그네슘 합금은 150 mm x 28 mm x 2 mm 치수를 가졌고, 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 시트는 150 mm x 28 mm x 1 mm 치수를 가졌다. 스트로크는 2 mm/분으로 인가되었다. 신장계는 시험 도중 금속 부분에 부착되었다.
- [0053] 상기 금속-플라스틱 접합체에 대하여 접합 계면들의 단면들과 인장 시험에 의하여 파괴된 표면들을 JSM-7001F-주사전자현미경을 이용하여 분석하였다. 또한, 접합 계면들은 집중된 이온빔 (FIB, FEI Helios Nano-Lab 600)을 이용하여 박리한 후, 접합 계면들의 단면들에 대한 투과전자현미경 분석을 수행하였다.
- [0054] 상기 금속-플라스틱 접합체에 대하여 인장 시험에 의하여 파괴된 표면들을 X-선 광전자 분광기(모드I K-Alpha+ Thermo)를 이용하여 X-선 광전자 분광 분석을 수행하였다. X 선 소스는 단색광 알루미늄 소스를 이용하였다(A1 K $\alpha$  line: 486.6 eV). 대략 400  $\mu$ m의 직경을 가지는 샘플에 대하여 전압은 12 kV 이었고, 전류는 10 mA 이었다.
- [0056] 실험 결과
- [0057] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합부의 주사전자현미경 사진들이다. 도 4에서, (a)는 HMPB1, (b)는 HMPB2, (c)는 HMPB3, 및 (d)는 HMPB4 에 해당된다.
- [0058] 도 4를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 사이의 중첩부의 계면들이 나타나있고, 상기 계면들에는 산화층이 각각 형성되어 있음을 알 수 있다. 상기 산화층의 두께는 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 어닐링 시간에 의존하는 것으로 분석된다. 구체적으로, HMPB1는 180 nm 두께의 산화층을 가지고, HMPB2는 565 nm 두께의 산화층을 가지고, HMPB3은 820 nm 두께의 산화층을 가지고, HMPB4는 1230 nm 두께의 산화층을 가진다. 따라서, 어닐링 시간이 증가될수록 마그네슘 표면에 형성되는 산화층의 두께가 증가된다.
- [0059] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 전면(front side)과 후면(back side)을 나타내는 사진들이다. 도 5에서, (a)는 HMPA0, (b)는 HMPA3, (c)는 HMPB3, 및 (d)는 HMPC3 에 해당된다.
- [0060] 도 5를 참조하면, 금속-플라스틱 접합체는 우수한 접합부를 형성하였고, 평균 접합 면적은 대략 1120 mm<sup>2</sup> 으로 나타났다. 접합 공정에 의하여, 도 5의 (c)와 (d)의 적색 화살표로 표시된 바와 같이 접합부의 측면에 작은 플라스틱 응집체가 형성되었다. 상기 플라스틱 응집체는 HMPB와 HMPC에서는 명확하게 나타났으나, HMPA에서는 명확하게 나타나지 않았다. 또한, 상기 플라스틱 응집체는 HMPB에 비하여 HMPC에서 더 큰 분포와 크기를 나타내었다. 반면, HMPA에서는 상기 플라스틱 응집체의 분포와 크기가 상대적으로 작게 나타났다. 이러한 플라스틱 응집체는 접합 공정 동안 탄소섬유 강화 플라스틱이 용융되고 유동하여 접합 계면들에 형성된 것으로 분석된다. 용융된 탄소섬유 강화 플라스틱의 일부는 재화 중량 부재에 의한 가압에 의하여 접합부의 외부로 돌출된 것으로 분석된다. 또한, 상기 HMPA, HMPB 및 HMPC 에서 상기 플라스틱 응집체의 크기와 분산이 다른 이유는 접합 공정에서 사용된 금속 블록의 온도의 차이에 기인한 것으로 분석된다. 예를 들어, HMPC의 금속 블록의 온도가 600℃이므로, 400℃의 HMPA와 500℃의 HMPB에 비하여 탄소섬유 강화 플라스틱의 용융이 더 강하게 발생할 수 있다.
- [0061] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 어닐링 시간에 대한 인장 전단 하중을 나타내는 그래프이다. 참고로, 도 6에서, HMPA는 금속 블록의 온도가 400℃ 이고, HMPB는 500℃ 이고, HMPC는 600℃ 이다.
- [0062] 도 6을 참조하면, 다른 공정 조건 하에서 형성된 금속-플라스틱 접합체의 접합 강도를 평가하도록 인장 전단 시

험들을 수행하였다. 인장 전단 시험 결과들은 다른 금속 블록의 온도들에서의 어닐링 시간에 대한 인장 전단 하중이 나타나있다. 상기 인장 전단 하중 수치에서 표준편차(Chauvenet의 기준에 따름)에 대한 최대 허용 편차의 비율은 1.38 이었다 [25].

- [0063] HMPA에서는, 산화층을 가지지 않는(즉, 어닐링 시간이 0 분임) 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 하중은 1.6 kN 이었다. 2 분의 어닐링 시간의 경우에는, 즉 금속-플라스틱 접합체가 산화층을 가지는 경우에는, 인장 전단 하중이 감소되어 1.3 kN 을 나타내었고, 이후 다시 증가되어 5 분의 어닐링 시간의 경우에는 1.9 kN, 10 분의 어닐링 시간에서는 2.9 kN 를 나타내었다. 10 분의 어닐링 시간의 경우에는, 금속-플라스틱 접합체는 최대값의 인장 전단 하중을 가졌다. 이어서 감소되어 20 분의 어닐링 시간의 경우에는 1.8 kN 을 나타내었다.
- [0064] HMPB에서는, 산화층을 가지지 않는 금속-플라스틱 접합체에 비하여 산화층을 가지는 금속-플라스틱 접합체가 높은 인장 전단 하중을 가졌다. 구체적으로, 산화층을 가지지 않는(즉, 어닐링 시간이 0 분임) 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 하중은 1.9 kN 이었다. 2 분의 어닐링 시간의 경우에는, 인장 전단 하중이 증가되어 3.3 kN 을 나타내었고, 5 분의 어닐링 시간의 경우에는 5.1 kN으로 최대값을 나타내었다. 이후, 어닐링 시간이 증가됨에 따라 인장 전단 하중이 감소되었으며, 10 분의 어닐링 시간의 경우에는 4.3 kN 으로 감소되었고, 20 분의 어닐링 시간의 경우에는 3.8 kN 을 나타냈다. 이러한 결과로부터, 어닐링 동안 마그네슘 합금의 표면에 형성된 산화층이 접합 공정에서 형성되는 접합부의 강도에 영향을 주는 것으로 분석된다. 상기 산화층은 접합부의 인장 전단 강도를 증가시키는 것으로 분석된다.
- [0065] HMPC에서는, 어닐링 시간이 증가됨에 따라 인장 전단 하중이 선형적으로 증가되었다. 산화층을 가지지 않는(즉, 어닐링 시간이 0 분임) 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 하중은 2.0 kN 이었다. 2 분의 어닐링 시간의 경우에는 2.2 kN, 5 분의 어닐링 시간의 경우에는 2.3 kN, 10 분의 어닐링 시간의 경우에는 2.6 kN, 20 분의 어닐링 시간의 경우에는 3.6 kN 이었다. 최대 인장 전단 하중은 20 분의 어닐링 시간에서 나타났다.
- [0066] HMPB가 모든 어닐링 시간에서 가장 높은 접합 강도들을 나타내었다. 또한, HMPC의 접합 강도는 0 분, 5 분, 및 20 분의 어닐링 시간에서 HMPA에 비하여 더 높게 나타났다. 인장 전단 강도의 분석을 통하여, 표면 산화층은 금속-플라스틱 접합체의 접합부의 강도에 영향을 주는 것으로 분석된다. 또한, 가장 높은 접합 강도는 마그네슘 합금 시트들을 5 분 내지 20 분 사이에서 어닐링하고, 500°C의 금속 블록을 이용한 경우에 달성되었다.
- [0067] 도 7 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합부의 주사전자현미경 사진들이다.
- [0068] 도 7을 참조하면, 산화층을 가지지 않는 금속-플라스틱 접합체로서 HMPB0 에 대한 접합부의 단면이 나타나있다. 도 7에서, (b)는 (a)의 적색 사각형 영역을 확대한 것이고, (c)는 (b)의 적색 사각형 영역을 확대한 것이다. 도 7의 (a)에 흰색 화살표로 표시된 바와 같이 접합 계면에 인접하여 형성된 많은 기포(bubble)이 관찰되었다. 이러한 기포들의 크기는 접합 계면을 따라서 변화되었고, 130 nm 내지 850 nm 의 범위를 나타내었다. 탄소섬유 강화 플라스틱과 아연 코팅 강의 접합을 위하여 LAMP 기술을 사용한 정 등(Junget al.)의 종래 연구에서는, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱의 용융 영역 내에서 밀리미터 이하의 크기의 많은 기포들을 형성되는 것을 보고하였다. 또한, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱의 표면 상의 분리된 기포들의 형성이 와바 등(Wahba et al)에 의하여 보고되었다 [15]. 도 7의 (c)를 참조하면, 적색 화살표로 표시된 바와 같이, 접합 계면에서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트가 분리되어 있다. 또한, 청색 화살표로 표시된 바와 같이, 접합 계면을 따라 분리 영역(debonding)이 관찰되었다. 이와 같이, 기포가 형성되고 또한 접합 계면을 따라 탄소섬유 강화 플라스틱이 분리되면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이의 결합이 저하된다.
- [0069] 도 8을 참조하면, 산화층을 가지는 금속-플라스틱 접합체에 대한 접합부의 단면이 나타나있다. 도 8에서, (a)와 (b)는 HMPB1에 해당되며, (b)는 (a)의 청색 사각형 영역을 확대한 것이고, (c)와 (d)는 HMPB2에 해당되며, (d)는 (c)의 청색 사각형 영역을 확대한 것이고, (e)와 (f)는 HMPB3에 해당되며, (f)는 (e)의 청색 사각형 영역을 확대한 것이다.
- [0070] 도 8의 (a)를 참조하면, 흰색 화살표로 표시한 바와 같이 수 개의 기포가 형성되었으나, 도 7의 HMPB0와 같은 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리 영역은 발견되지 않았다. 또한, 도 8의 (b)를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이의 밀착된 결합을 보이며, 분리 영역이 관찰되지 않았다. 이러한 결과로부터, 마그네슘 합금의 표면에 어닐링을 통하여 형성된 산화층이 결합 메커니즘에 중요한 영향을 주는 것으로 분석된다.

- [0071] 도 8의 (c)를 참조하면, 접합 계면에서 기포가 발견되지 않았다. 또한, 도 8의 (d)를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 간극이 없는 매우 밀착된 접합 계면을 나타낸다. 또한, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리 영역이 관찰되지 않았다.
- [0072] 도 8의 (e)를 참조하면, 접합 계면에서 기포가 발견되지 않았다. 또한, 도 8의 (f)를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 간극이 없는 밀착된 결합 계면을 나타낸다. 또한, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리 영역이 관찰되지 않았다. 결과적으로, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트 사이의 결합은 매우 밀착되고, 분리 영역은 관찰되지 않았다.
- [0073] 도 9를 참조하면, 산화층을 가지는 금속-플라스틱 접합체로서 HMPB3에 대한 접합부의 단면이 나타나있고, 상기 단면에 대한 EDS 맵핑이 나타나 있다. 상기 단면에서, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트 사이에 산화층(MgO)이 개재되어 있다. 상기 산화층은 대략 820 nm 두께이고, 접합 계면을 따라서 균일하게 분포된다. 상기 산화층은 EDS 맵핑 결과로부터 MgO로 구성되는 것으로 분석된다. 상기 산화층과 상기 탄소섬유 강화 플라스틱 사이의 계면은 돌출되지 않고 매끈하게 형성되어 있다. 탄소 맵에 따르면, 탄소 수준은 MgO와 탄소섬유 강화 플라스틱의 계면을 따라서 점진적으로 변화되고, 두 개의 층들 사이에서 마그네슘과 산소가 더 분리된 경계를 나타낸다.
- [0074] 도 10을 참조하면, 산화층을 가지는 금속-플라스틱 접합체로서 HMPB4에 대한 접합부의 단면이 나타나있다. 도 10에서, (b)는 (a)의 청색 사각형 영역을 확대한 것이다. 상기 단면에서, 접합 계면 상과 인접하여 기포들이 형성되지 않았다. 또한, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 밀착된 결합 계면이 형성되어 있다. 따라서, AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면 상에 산화층이 형성되면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 간극이 없는 밀착되고 균일한 결합이 형성됨을 알 수 있다. 또한, AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면 상에 형성된 산화층은 기포의 형성을 방지하고 또한 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리를 방지할 수 있는 것으로 분석된다.
- [0075] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 사진들이다. 도 11에서, (a)는 HMPB0, (b)는 HMPB1, (c)는 HMPB2, (d)는 HMPB3, (e)는 HMPB4에 해당된다.
- [0076] 도 11을 참조하면, 파괴된 표면들에 발생한 파괴 모드는 계면 파괴로 나타났다. 또한, 마그네슘 합금 시트들 상에 용해된 탄소섬유 강화 플라스틱 층이 관찰될 수 있다. 도 11의 (a)에 나타난 바와 같이, 산화층이 형성되지 않은 HMPB0의 경우에는 AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이의 접합 영역이 균일하지 않음을 알 수 있다. 반면, 도 11의 (b) 내지 (e)에 나타난 바와 같이, 산화층이 형성된 HMPB1, HMPB2, HMPB3 및 HMPB4의 경우에는, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 균일한 접합 영역이 형성됨을 알 수 있고, 접합 영역의 면적 또한 더 넓게 나타났다. HMPB1, HMPB2, HMPB3 및 HMPB4의 경우에는, AZ31 마그네슘 합금 시트 상의 용융된 탄소섬유 강화 플라스틱 층이 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 용융 영역과 동일한 영역으로 나타났다. 반면, HMPB0의 경우에는, AZ31 마그네슘 합금 시트 상의 용융된 탄소섬유 강화 플라스틱 층이 탄소섬유 강화 플라스틱의 용융 영역과 동일하지 않았다. 이러한 파괴된 표면들의 형상을 고려하면, AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면 상에 어닐링을 통하여 형성된 산화층이 AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 균일하고 넓은 결합 영역을 형성하는 것으로 분석된다.
- [0077] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다. 도 12에서, (a)는 HMPB3의 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면이고, (b)는 HMPB3의 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 표면이다.
- [0078] 도 12의 (a)를 참조하면, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 용융층이 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면에 부착됨을 알 수 있다. 도 12의 (b)를 참조하면, 점선 원으로 표시된 바와 같이, 용융된 탄소섬유 강화 플라스틱 층이 잔부가 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 표면에 잔존함을 알 수 있다.
- [0079] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 인장 전단 시험에 의하여 파괴된 표면들을 나타내는 주사전자현미경 사진 및 EDS 맵핑 결과이다. 도 13에서, (a)는 HMPB3의 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면이고, (b)는 HMPB3의 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 표면이다.
- [0080] 도 13을 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트의 파괴된 표면에서는 탄소섬유 강화 플라스틱이 부착됨을 알 수 있

는 탄소 피크가 관찰된다. 반면, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 표면에서는 마그네슘 피크가 관찰되지 않았다.

[0081] 산화층이 AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 접합 강도를 증가시키는 것을 설명하도록, X-선 광전자 분광 스펙트럼 분석을 수행하였다.

[0082] 표 2는 산화층과 탄소섬유 강화 플라스틱 사이의 계면에 형성될 수 있는 화합물들의 형성 에너지를 나타내는 표이다.

표 2

화학식	공간군	형성에너지 (eV)
MgCO <sub>3</sub>	R3c	-2.084
Mg(CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	P21/c	-2.058
MgCO <sub>3</sub>	C2221	-2.084
Mg <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	Pmmm	0.169
Mg(OH) <sub>2</sub>	P3m1	-2.081
Mg <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P3m1	-2.607
Mg <sub>5</sub> (HO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	P3m1	-2.675
Mg <sub>3</sub> (HO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	P3m1	-2.503

[0084] 표 2를 참조하면, 접합 과정에서 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면 상에 형성된 화합물의 공간 군과 형성에너지가 나타나 있다. 이러한 형성에너지는 DFT 기반 반응 계산을 이용하여 계산하였다 [27]. MgCO<sub>3</sub> 및 Mg-H-O 화합물들은 매우 낮은 형성 에너지를 가진다. 그러나, Mg-H-O 화합물들이 가장 낮은 형성 에너지를 나타낸다고 하여도, 이러한 화합물들은 X-선 광전자 분광 분석의 참조 데이터가 없어 X-선 광전자 분광 분석을 시도하지 못하였다. 따라서, MgO 및 MgCO<sub>3</sub> 화합물들에 한정하여, X-선 광전자 분광 분석을 수행하고, 하기의 도 14에 도시하였다.

[0085] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 파괴된 표면에 대한 X-선 광전자 분광 분석을 나타내는 그래프들이다. 도 14에서, (a)는 HMPB0, (b)는 HMPB1 에 해당된다.

[0086] 도 14를 참조하면, HMPB0과 HMPB1은 다른 경향의 X-선 광전자 분광 스펙트럼을 나타내었다. 도 9의 주사전자현미경-EDX 결과들은 산화물(MgO)과 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이의 계면에서 탄소 함유 화합물이 형성되는 가능성을 나타낸 바 있다. 구체적으로, HMPB0의 경우에는, 관찰된 곡선이 MgO의 이론 곡선과 잘 일치하였고, 반면, HMPB1의 경우에는, 관찰된 곡선이 MgO의 이론 곡선 및 MgCO<sub>3</sub>의 이론 곡선과 잘 일치하였다. 따라서, 마그네슘 합금 시트의 표면에 존재하는 산화층의 종류가 관찰된 분광 스펙트럼들의 특성에 영향을 주는 것으로 분석된다. 이것은 HMPB0에서의 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면에서 관찰된 스펙트럼들과는 대조를 이룬다. 그러나, 상기 분석에서 사용된 MgCO<sub>3</sub>의 결합 에너지가 기준 참조 데이터와는 약간 다름에 유의한다. 이는 관찰된 새로운 상이 MgCO<sub>3</sub> 상이거나 또는 미지의 다른 상일수 있음을 의미한다. 따라서, 현 단계에서는 가능한 새로운 상의 특성을 명확하게 이해하지 못한 한계가 있다.

[0087] 도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진들이다. 도 15에서, (a)와 (b)는 HMPB1에 해당되며, (b)는 (a)의 청색 사각형 영역을 확대한 것이다.

[0088] 도 15의 (a)를 참조하면, 흑색 화살표로 표시된 바와 같이, 접합 계면에 인접하여 가지형 구조가 형성됨을 알 수 있다. 도 15의 (b)를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 개재된 나노 미터 크기의 얇은 산화층(Mg oxide)이 관찰된다.

[0089] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한

금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 EDX 원소 맵핑이다. 도 16에서, HMPB1에 해당된다.

- [0090] 도 16를 참조하면, 산화층은 평행한 두 개의 직선 내에 위치하고, EDX 원소 맵핑에 의하여 상기 산화층은 MgO로 분석된다. 또한, 접합 계면에 인접하여 형성된 가지형상 구조들도 MgO로 분석된다. 또한, 탄소섬유 강화 플라스틱 내에서 성장한 산화물이 관찰된다.
- [0091] 도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다. 도 17에서, HMPB1에 해당되며, (b)는 (a)의 청색 사각형 영역으로 산화층을 확대한 사진이고, (c)는 (a)의 청색 사각형 영역으로 가지형 구조를 확대한 사진이다.
- [0092] 도 17을 참조하면, SAED 패턴의 분석 결과로부터 산화층과 가지형 구조가 모두 MgO로 구성되는 것으로 분석되었고, 도 16의 결과와 일치한다. 상기 산화층은 SAED 패턴에서 나타난 바와 같이, 고각도 결정 입계들로 구성된 다결정 구조를 가진다. 반면, 가지형상 구조의 결정 입계는 고해상도 투과전자현미경 사진에 명확하게 나타나지 않으며, SAED 패턴 분석에서는 연속 링 패턴을 나타내고 있다. 따라서, 가지형 구조는 매우 미세한 나노 입자 구조를 가지거나 거의 비정질에 가까운 산화물 구조를 가지는 것으로 분석된다. 그러나, 현 단계에서는 가지형 구조의 형성 메커니즘을 명확하게 이해하지 못한 한계가 있다.
- [0093] 도 18은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 암시야 투과전자현미경 사진 및 EDX 분석이다. 도 18에서, HMPB1에 해당되며, (a)는 암시야 투과전자현미경 사진이고, (b)는 EDX 분석을 나타낸다.
- [0094] 도 18을 참조하면, 마그네슘 함량은 좌측 시작점에서 점진적으로 감소하고 (① 영역에 해당됨), 산화층의 경계로부터 5 nm 떨어진 부분에서 균일한 평탄부를 가지게 되고 (② 영역에 해당됨), 이어서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트가 위치하는 영역에서 급격하게 감소된다 (③ 영역에 해당됨). 탄소섬유 강화 플라스틱이 위치하는 영역에는(③ 영역에 해당됨) 마그네슘 함량이 상당히 낮게 나타나고, 탄소 함량이 높게 나타난다. 이는 산화층의 외측에서 열가소성 폴리우레탄과 반응하며, 탄소 함유 마그네슘 산화물이 합성되는 것으로 분석된다. 이는 도 14의 X-선 광전자 분광 분석 결과와 잘 일치한다. 그러나, 이러한 반응의 메커니즘은 상대적으로 저온에서 발생하는 것으로서, 현 단계에서는 명확하게 이해하지는 못한 한계가 있다.
- [0095] 도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다. 도 19는 HMPB3에 해당되며, (b)는 (a)의 청색 사각형 영역을 확대한 사진이고, (c)는 SAED 패턴을 나타낸다.
- [0096] 도 19의 (a)를 참조하면, 접합 계면에 인접하여 형성된 가지형상 구조들이 흑색 화살표로 표시되어 있다. 도 19의 (b)를 참조하면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에 개재된 매우 미세한 산화층으로서 MgO 층이 나타나 있다. 또한, 삽입된 사진들은 마그네슘 합금 및 산화층의 SAED 패턴들을 나타낸다. 도 19의 (c)를 참조하면, 상기 산화층이 SAED 패턴 분석에 의하여 MgO임을 알 수 있다.
- [0097] 도 20은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 EDX 원소 맵핑이다. 도 20에서, HMPB3에 해당된다.
- [0098] 도 20를 참조하면, 산화층은 평행한 두 개의 직선 내에 위치하고, EDX 원소 맵핑에 의하여 상기 산화층은 MgO로 분석된다. 또한, 접합 계면에 인접하여 형성된 가지형상 구조들도 MgO로 분석된다. 도 16의 결과와 유사하게, 또한, 탄소섬유 강화 플라스틱 내에서 성장한 산화물이 관찰된다.
- [0099] 도 21은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 투과전자현미경 사진 및 선택 영역 전자 회절 패턴이다. 도 21에서, HMPB3에 해당되며, (b)는 (a)의 선택 영역 전자 회절 패턴이다.
- [0100] 도 21을 참조하면, SAED 패턴들을 분석하면, 가지형 구조가 MgO로 구성되는 것으로 분석된다. 도 17과 유사하게 상기 가지형 구조는 링 패턴을 나타낸다.
- [0101] 도 22는 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체의 접합 계면의 암시야 투과전자현미경 사진 및 EDX 분석이다. 도 22에서, HMPB3에 해당

되며, (a)는 암시야 투과전자현미경 사진이고, (b)는 EDX 분석을 나타낸다.

[0102] 도 22을 참조하면, 마그네슘 함량은 좌측 시작점에서 대략 100 nm 거리에서 1차 평탄부가 나타나고 (① 영역에 해당됨), 이후에 감소되는 경향을 보이며, 산화층으로 덮인 부분의 말단에 도달하기 전 대략 100 nm 거리에서 2차 평탄부가 나타난다 (② 영역에 해당됨). 탄소섬유 강화 플라스틱 영역 내에서는 마그네슘 함량은 급격하게 감소된다. 이러한 거동은 도 18의 HMPB1의 결과와 유사하다. 이러한 결과로부터, 최외각 평탄부는 열가소성 폴리우레탄과 반응하는 영역이고, 이에 따라 탄소 함유 마그네슘 산화물이 합성됨을 알 수 있다.

[0104] 심층 분석

[0105] 도 6의 인장 전단 시험 결과로부터, 어닐링을 통하여 산화층이 AZ31 마그네슘 합금 시트에 형성된 경우가 더 강한 접합부를 가지는 것으로 분석된다. 어닐링 시간은 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면에 형성되는 산화층에 영향을 주며, 이에 따라 인장 전단 강도를 증가시킬 수 있다. AZ31 마그네슘 합금 시트를 5 분 내지 20 분 범위에서 어닐링한 경우에 인장 전단 강도가 가장 우수하게 나타났다. 고온 금속 압축 접합 기술을 이용하여 형성한 접합부는 500℃의 금속 블록 온도와 5 분 내지 20 분 범위의 어닐링 시간에서 가장 강한 접합부를 형성하였다. 참고로, 와바 등(Wahba et al.)의 연구에 의하면, PET(polyethylene terephthalate)와 AZ91D 마그네슘 합금 시트를 접합하기 위하여 LAMP 기술을 사용한 경우에서, 플라스틱을 레이저 조사한 경우에는 1.5 kN의 인장 전단 하중을 나타내었고, 금속을 레이저 조사한 경우에는 2.9 kN의 인장 전단 하중을 나타내었다 [15]. 정 등(Junget al.)의 연구에 의하면, 탄소섬유 강화 플라스틱과 아연 코팅 시트에 LAMP 접합 기술을 사용한 경우에는 3.3 kN의 최대 인장 전단 하중을 나타내었다 [26]. 또한, 다른 연구에 따르면, 4.8 kN의 최대 인장 전단 하중이 보고된 바 있다 [24].

[0106] 주사전자현미경 결과들로부터, 접합 계면에 인접하여 기포가 형성되는 것이 관찰되었다. 이러한 기포 형성은 어닐링된 AZ31 마그네슘 합금 시트에 비하여 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트의 경우 더 많이 발생하였다. 따라서, 산화층은 이러한 기포 형성의 방지에 주요한 역할을 하는 것으로 분석된다. 또한, 도 7의 (c)에 나타난 바와 같이, 접합 샘플의 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱의 분리가 관찰되었다. 이러한 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱이 분리되는 것은 접합 계면을 따라서 분리 영역을 형성한다. 그러나, 도 8 및 도 10와 같이 어닐링되어 산화층이 형성된 AZ31 마그네슘 합금 시트에서는 이러한 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리가 관찰되지 않았다. 따라서, 이러한 탄소섬유 강화 플라스틱의 분리는 HMPA0, HMPB0 및 HMPB0과 같이 산화층이 형성되지 않은 경우에서 인장 전단 하중이 낮게 나타나는 이유로 분석된다. 상기 산화층은 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리를 억제하는 것으로 분석되며, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트의 결합을 강하게 하는 것으로 분석된다. 이러한 강화 효과는 도 8(b), 도 8(d), 도 8(e) 및 도 10(b)에 각각 나타난 HMPB1, HMPB2, HMPB3 및 HMPB4에서의 밀착된 결합 계면들에 의하여 지지될 수 있다. 다만, 어닐링 하지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트에서도 접합 샘플에 자연적인 산화층이 매우 얇게 존재하지만, 기포의 형성을 억제하거나 또는 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 분리를 방지하기에는 충분한 두께 아닌 것으로 분석된다. 어닐링에 의하여 AZ31 마그네슘 합금 시트에 형성된 산화층은 두꺼울수록, 기포들의 형성을 더 효과적으로 억제할 수 있고, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱시트의 분리를 더 효과적으로 방지할 수 있다.

[0107] 도 11에 나타난 바와 같이, 금속-플라스틱 접합체의 파괴된 표면들의 형상은 산화층의 다른 효과를 나타낸다. 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트와 비교하여, 어닐링된 AZ31 마그네슘 합금 시트는 높은 균일성의 결합 영역을 포함한다. 또한, 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트와 비교하여, 어닐링된 AZ31 마그네슘 합금 시트의 접합부의 결합 영역은 더 넓게 형성되었다.

[0108] 도 14에 나타난 바와 같이, X-선 광전자 분광 스펙트럼들 결과들은 HMPB0와 HMPB3의 파괴된 표면들에 대하여 관찰된 곡선에 상이점을 나타낸다. 이러한 결과로부터, AZ31 마그네슘 합금 시트에 산화층이 형성되면, AZ31 마그네슘 합금 시트와 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 사이에서 결합되는 동안 화학적 화합물의 형성을 야기시킬 수 있고, 이에 따라 접합부의 강도를 증가시킬 수 있다. 이러한 화학적 반응에 대하여 추가적인 연구가 필요하다.

[0109] 도 15 및 도 19의 투과전자현미경 결과들과 도 4의 주사전자현미경 결과들로부터 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트의 접합부에 매우 미세한 MgO 층이 개재됨을 알 수 있다. 이러한 MgO 층의 두께는 어닐링 시간에 의존하고, 더 긴 어닐링 시간에서 더 두꺼운 MgO 산화층이 형성된다. 또한, 이러한 산화층은 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트 사이의 밀봉제로서 기능을 할 수 있다.

[0110] HMPB1 및 HMPB3의 투과전자현미경 사진들은 접합 계면들에 인접하여 가지 형상 구조들이 형성됨을 알 수 있고,



SAED 패턴 분석에 의하여 이러한 가지 형상 구조들은 MgO로 형성됨을 알 수 있다. MgO 산화층은 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 내부로도 성장한다. 이러한 거동에 대한 메커니즘들을 더 이해하기 위한 차후 연구가 필요하다. 가지 형상 구조들은 기계적 고정 효과를 제공할 수 있고, 결합 강도를 상당히 증가시킬 수 있다.

[0111] 도 18(b) 및 도 22(b)에 도시된 바와 같이, 투과전자현미경-EDX 결과들은 다른 흥미로운 결과를 나타낸다. 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 계면에 가장 인접한 최외측 얇은 MgO 산화층은 Mg, C 및 O의 조성이 약간 다르게 나타난다. 이러한 거동의 메커니즘은 아직 완전히 이해하기 어려우나, 화학적 반응에 의한 것으로 추정할 수 있고, 이는 정 등(Junget al.) [26]에 의하여 보고된 바와 같고, 또는 알려지지 않은 구조의 형성이다. 이러한 현상에 대하여 추가 연구가 필요하다.

[0112] 도 23은 본 발명의 일실시예에 따른 고온 금속 압축법을 이용한 금속과 플라스틱의 접합방법을 이용하여 형성한 금속-플라스틱 접합체에 대한 고온 금속 압축 접합 기술의 메커니즘을 설명하는 모식도이다. 도 23에서, (a)는 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금을 접합하는 경우이고, (b)는 탄소섬유 강화 플라스틱과 어닐링되어 산화층이 형성된 AZ31 마그네슘 합금을 접합하는 경우이다.

[0113] 도 23를 참조하면, 상기 메커니즘은 상술한 결과들을 기초로 구성될 수 있다. 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트를 접합하는 경우에는, 금속 블록으로부터 마그네슘 합금으로, 그리고 이어서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트로 빠르게 열이 전달된다. 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 플라스틱 매트릭스는 전달된 열에 의하여 빠르게 용융될 수 있고, 접합 계면에 인접하여 용융부가 형성될 수 있다. 이어서, 접합 계면에 인접한 용융부로부터 작은 기포들이 생성될 수 있고, 결과적으로 플라스틱 매트릭스를 분리시키고 강화 탄소섬유들로 열이 급격하게 전달될 수 있다 [26]. 금속 블록을 제거한 후에는, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트로부터 분리된 플라스틱 매트릭스는 고상화되고, 접합 계면에서 마그네슘 합금의 표면으로부터 분리되고, 결과적으로 접합 계면에 간극을 형성한다. 따라서, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱의 분리와 기포 형성이 설명될 수 있다.

[0114] 마그네슘 합금 시트의 표면에 산화층(MgO 층)을 포함하는 경우에는, 산화층은 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 직접 접촉하게 되고, 따라서 금속 블록으로부터 열이 탄소섬유 강화 플라스틱 시트로 전달되는 것을 방지한다. 이어서, 금속 블록으로부터 AZ31 마그네슘 합금 시트로 열이 전달된다. 그러나, 산화층은 마그네슘 합금에 비하여 낮은 열전도성을 가지므로, AZ31 마그네슘 합금 시트로부터 탄소섬유 강화 플라스틱 시트로 열이 전달되는 것이 느려지게 된다. 결과적으로, 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 용융이 점진적으로 발생하게 되고, 접합 계면에서 탄소섬유 강화 플라스틱 시트의 용융부가 상대적으로 얇은 층의 형태로 형성될 수 있다. 이러한 얇은 용융층은 AZ31 마그네슘 합금 시트의 표면에 강하게 접촉되고, 결과적으로 금속 블록이 제거된 경우 느린 속도로 고상화되고, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트가 매우 밀착되어 결합한다. 추가로, 산화층은 탄소섬유 강화 플라스틱 시트 내로 성장하고, 기계적 고정 효과를 제공하고, 접합부의 접합 강도를 증가시킬 수 있다.

[0116] 결론

[0117] 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트를 접합하도록 고온 금속 압축 기술을 사용하였다. 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트와 다양한 시간으로 어닐링하여 산화층을 형성한 AZ31 마그네슘 합금 시트를 사용하여 접합 공정을 수행하였다. 이에 따라, 하기와 같은 결론이 도출되었다.

[0118] 1. 고온 금속 압축 접합 기술을 이용하여, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트를 AZ31 마그네슘 합금 시트에 접합하는 것이 성공적으로 수행되었다.

[0119] 2. 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트들을 이용한 접합부에 비하여, 어닐링에 의하여 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 표면에 표면층을 산화시킨 경우가 더 높은 접합 강도가 구현되었다.

[0120] 3. 산화층이 형성되지 않은 AZ31 마그네슘 합금 시트에서는 기포가 형성되고 접합 계면에 인접하여 탄소섬유 강화 플라스틱에서 분리가 발생하였고, 접합 계면을 따라서 분리 영역이 발생하였다.

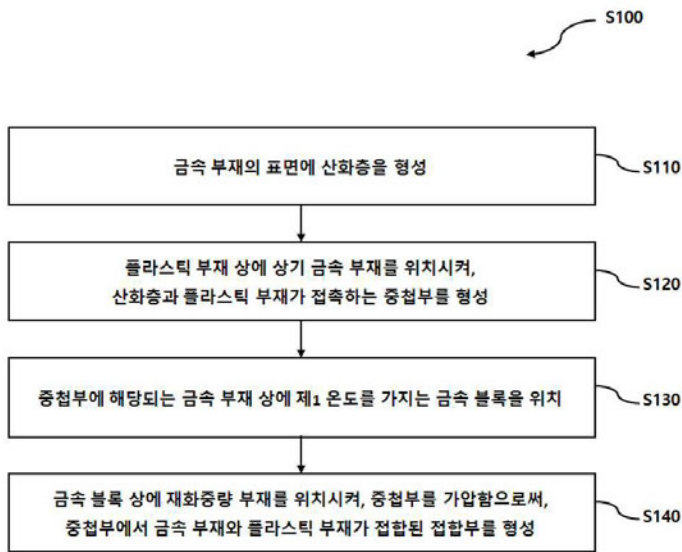
[0121] 4. AZ31 마그네슘 합금 시트들의 표면 상에 어닐링으로 형성된 산화층들이 있는 경우에는, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트가 분리되지 않고, 접합 계면들에 인접하여 기포가 형성되지 않았다. 이러한 경우에는, 탄소섬유 강화 플라스틱 시트와 AZ31 마그네슘 합금 시트가 단단하게 결합되었다.

[0122] 5. 어닐링에 의하여 AZ31 마그네슘 합금 시트들의 표면에 형성된 산화층은 마그네슘 합금과 탄소섬유 강화 플라스틱 시트들 사이에 균일하고 넓은 결합 영역을 가지는 접합부를 형성하였다.

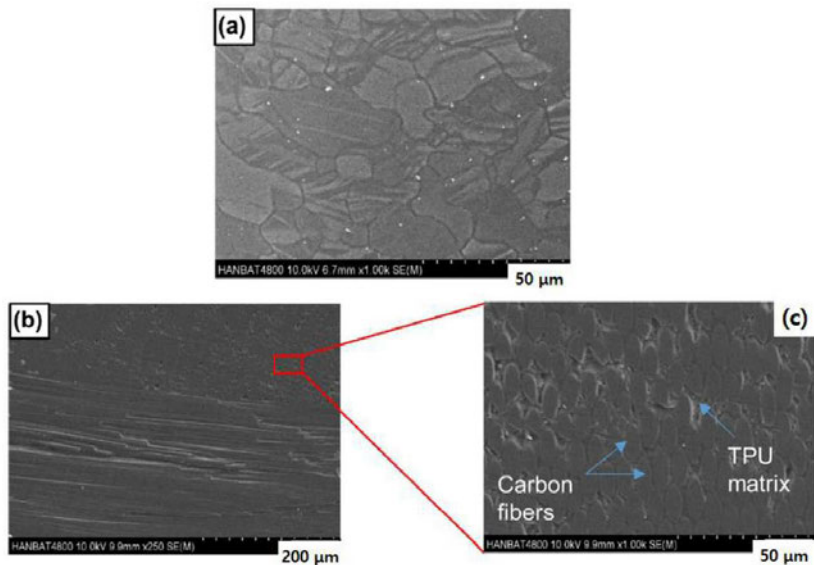
- [0123] 6. 어닐링된 마그네슘 합금 시트 샘플들의 접합 계면에 인접하여 산화층이 탄소섬유 강화 플라스틱 내부로 성장하는 것이 관찰되었고, 이에 따라 접합 강도를 증가시키는 기계적 고정 효과를 제공할 수 있다.
- [0124] 7. 고온 금속 압축 접합 기술을 이용한 더 강한 접합부에 대한 최적 조건은 500℃의 금속 블록 온도와 마그네슘 합금 시트들을 5 분 내지 20 분 사이에서 어닐링 한 것에 의하여 구현되었다.
- [0126] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

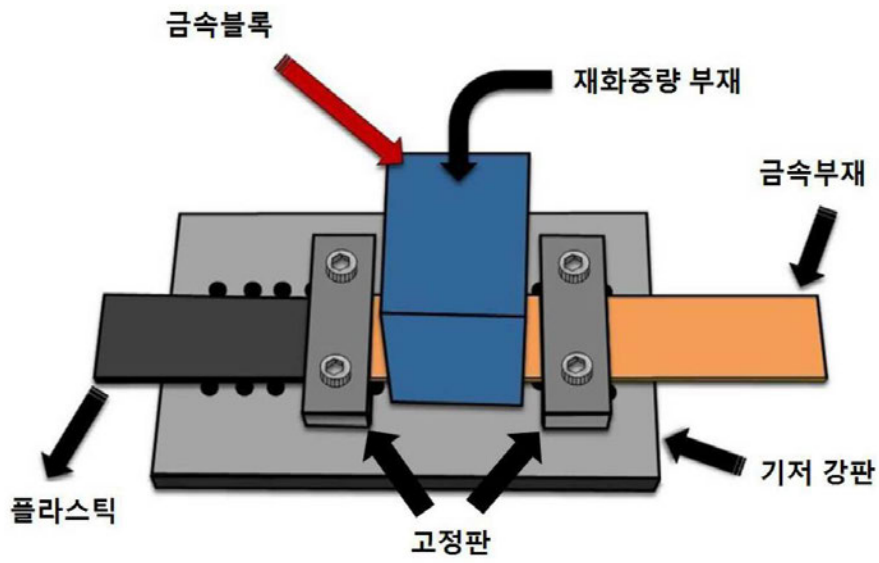
도면1



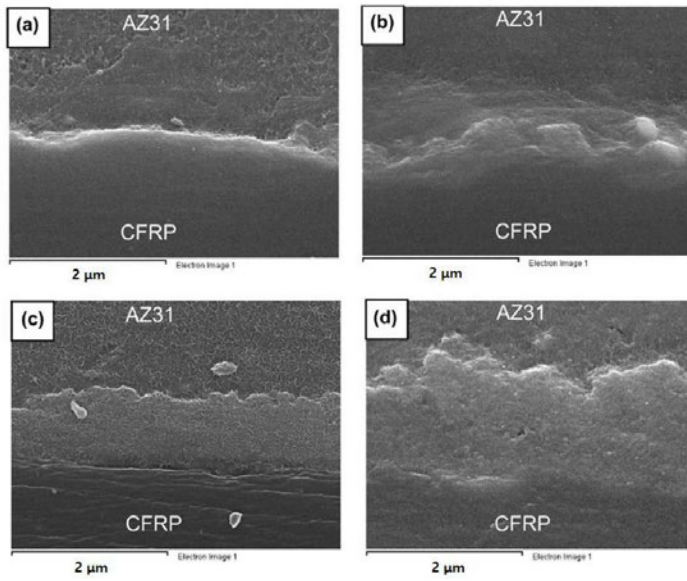
도면2



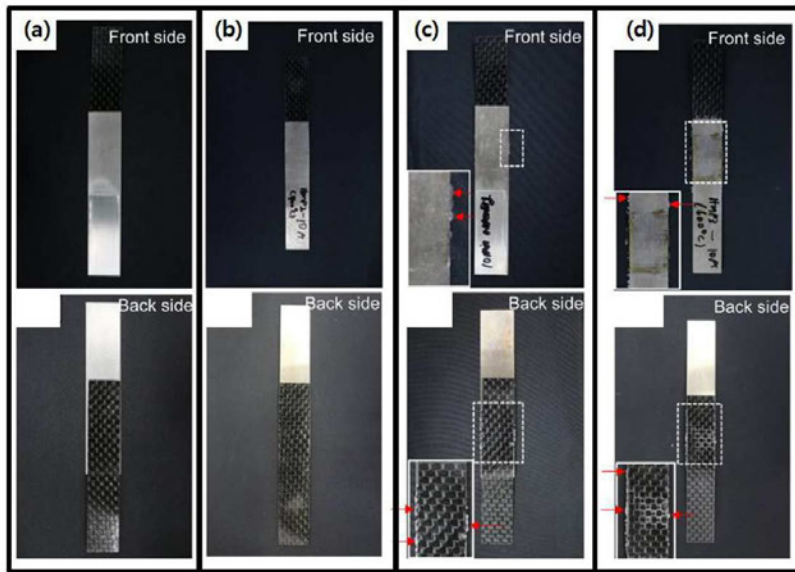
도면3



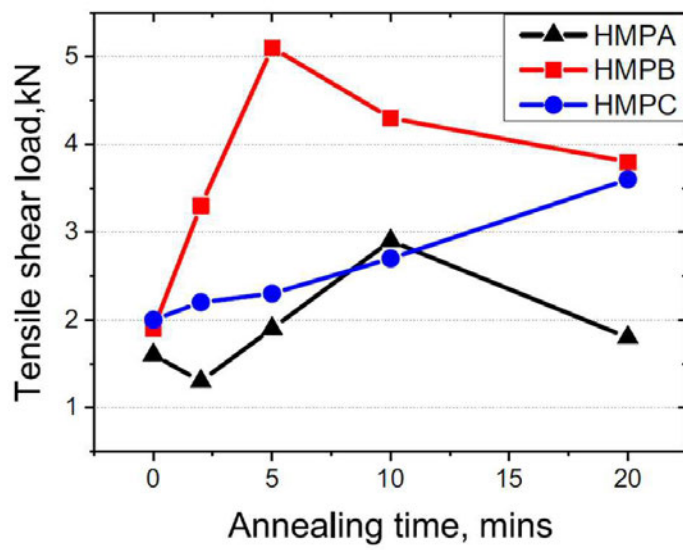
도면4



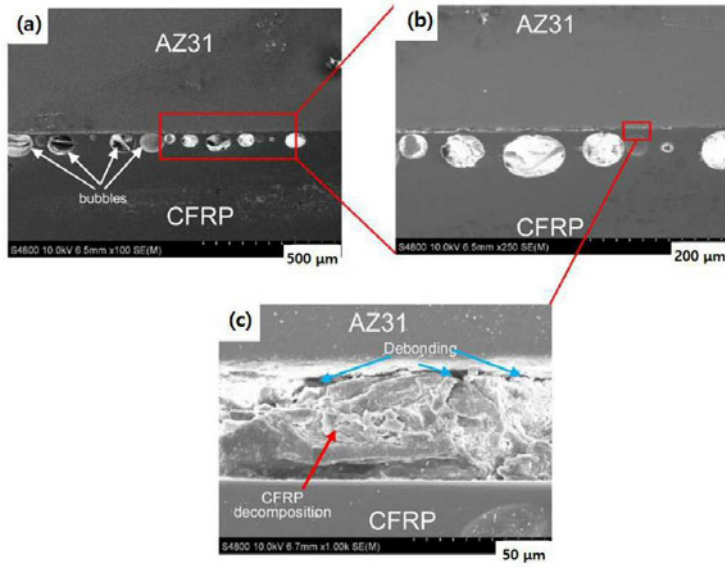
도면5



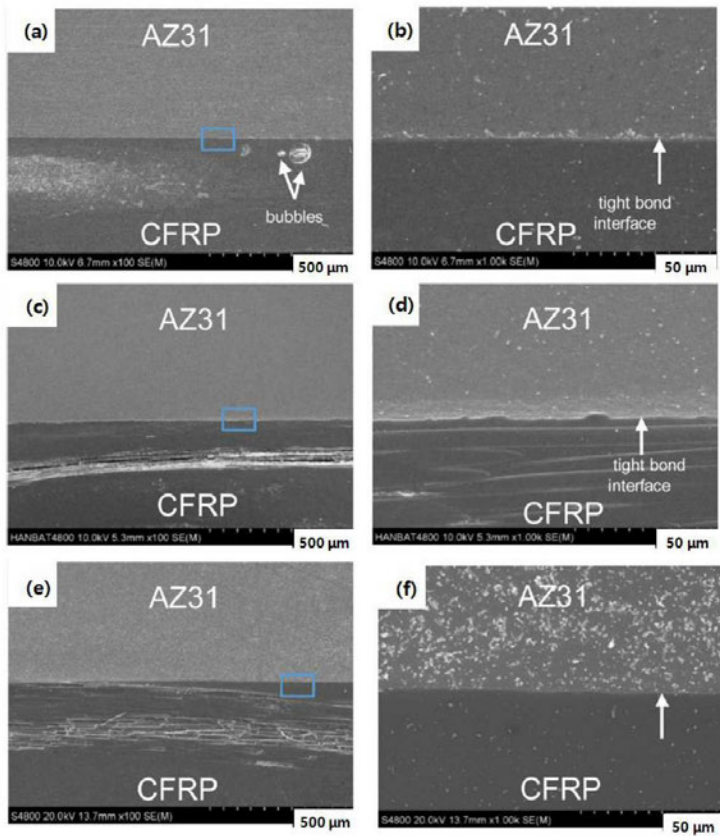
도면6



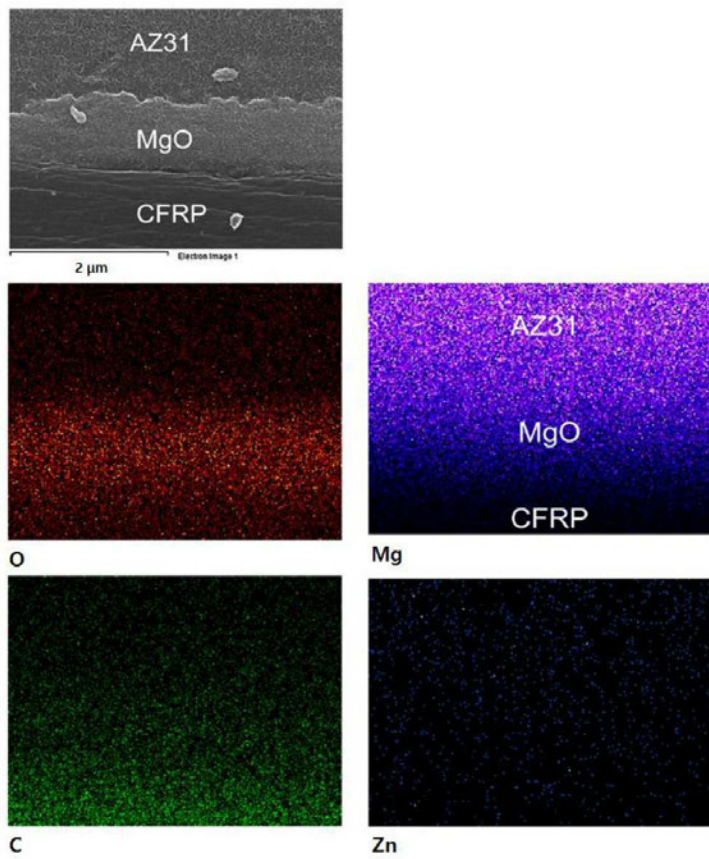
도면7



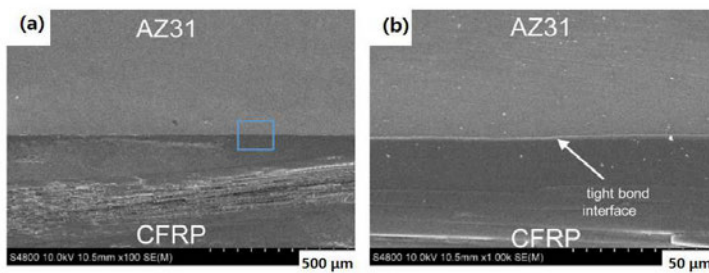
도면8



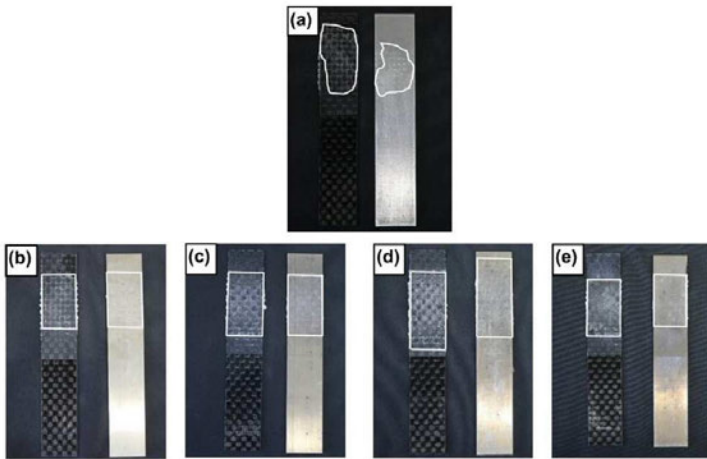
도면9



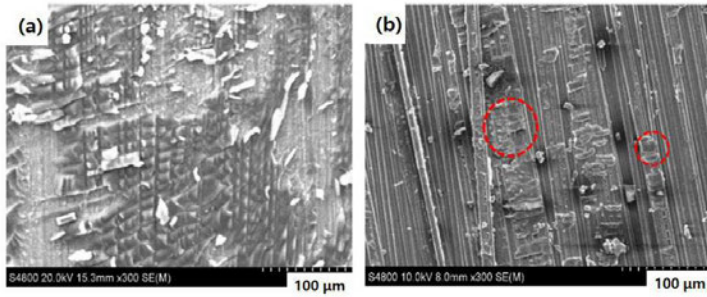
도면10



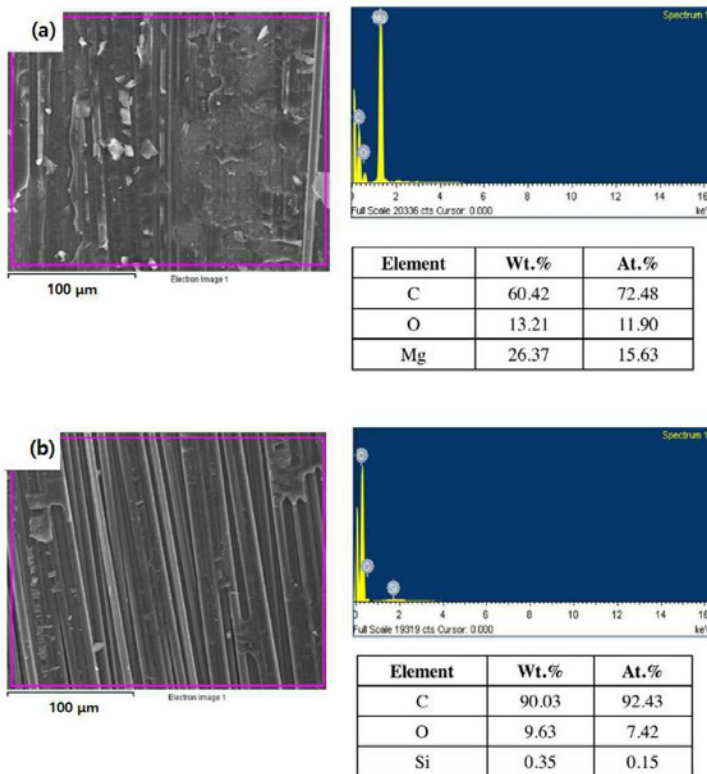
도면11



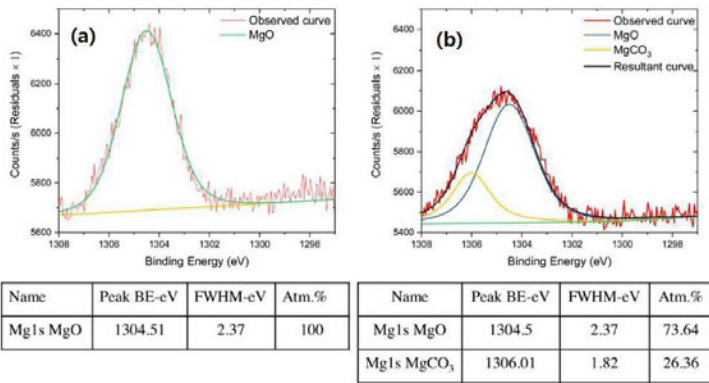
도면12



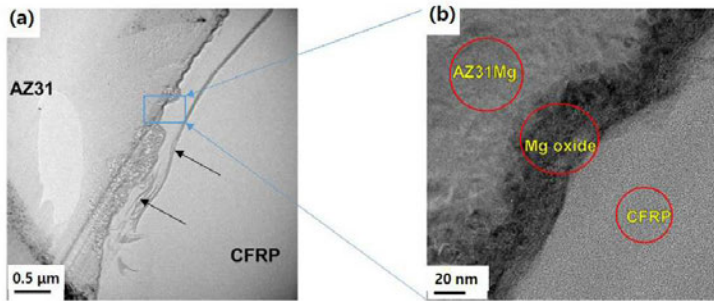
도면13



도면14

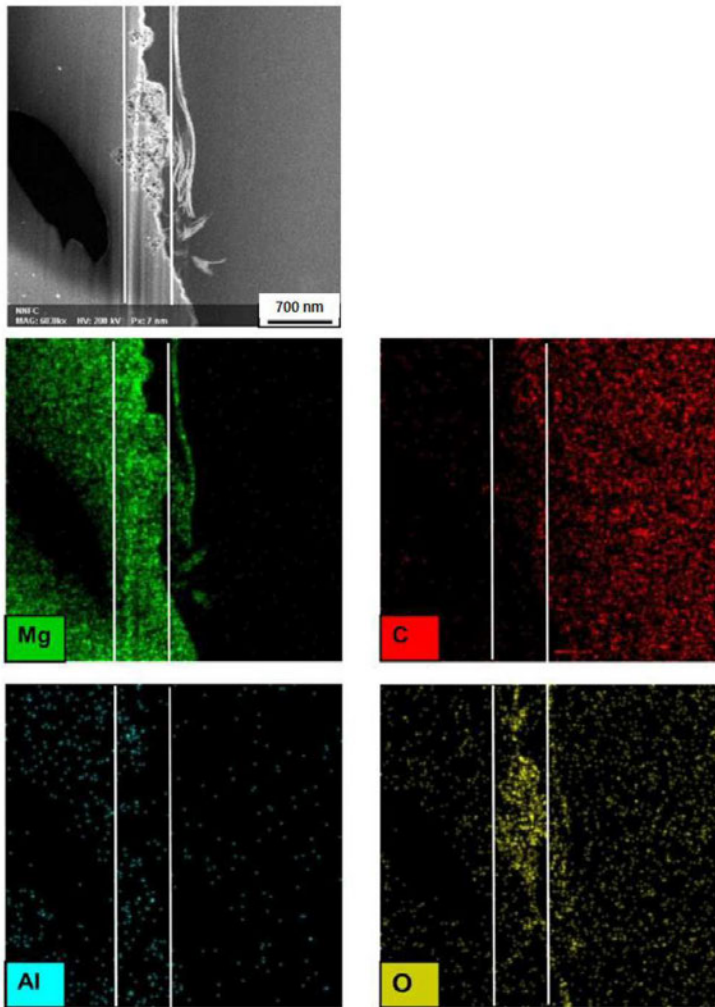


도면15

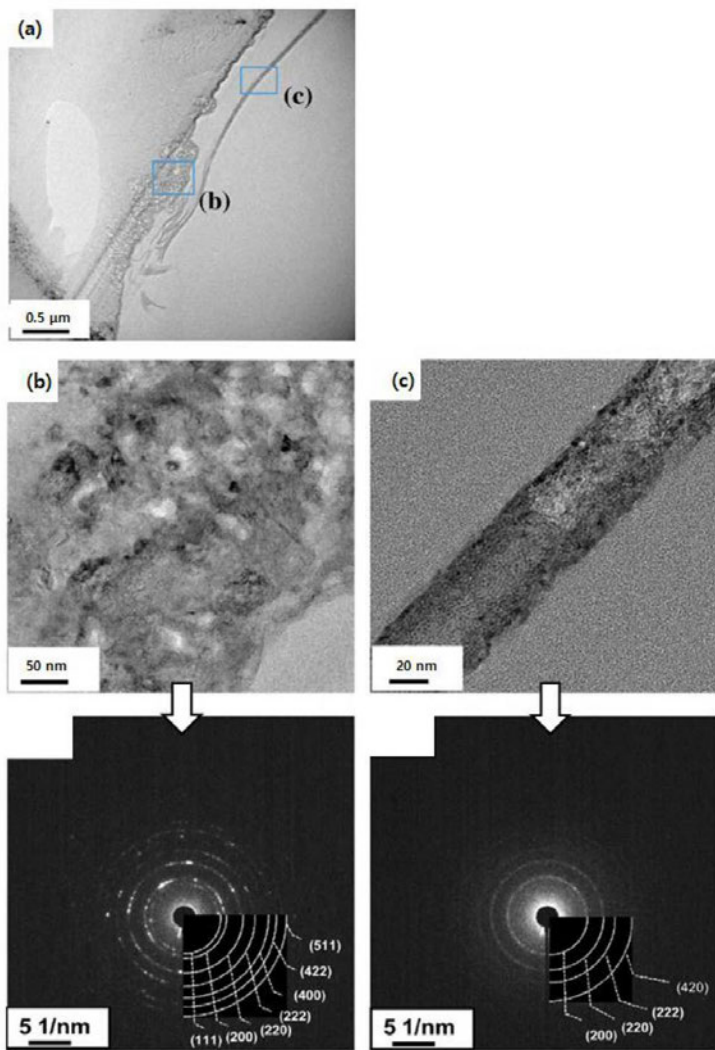




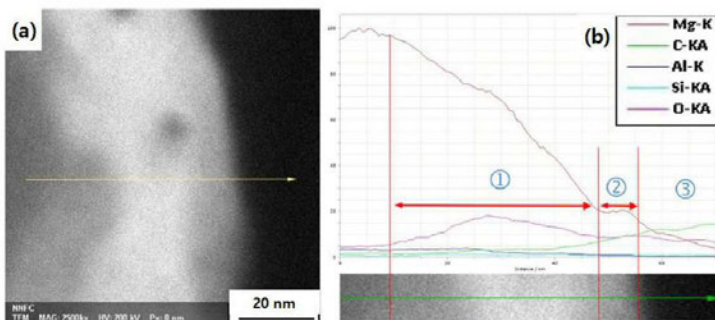
도면16



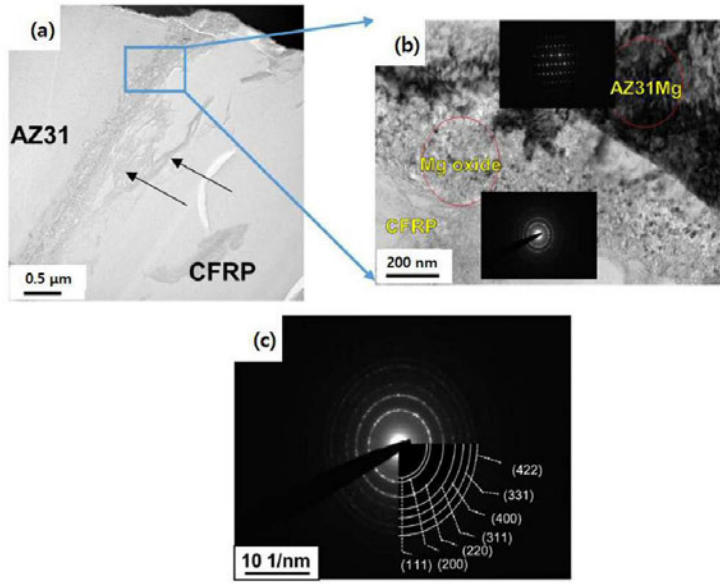
도면17



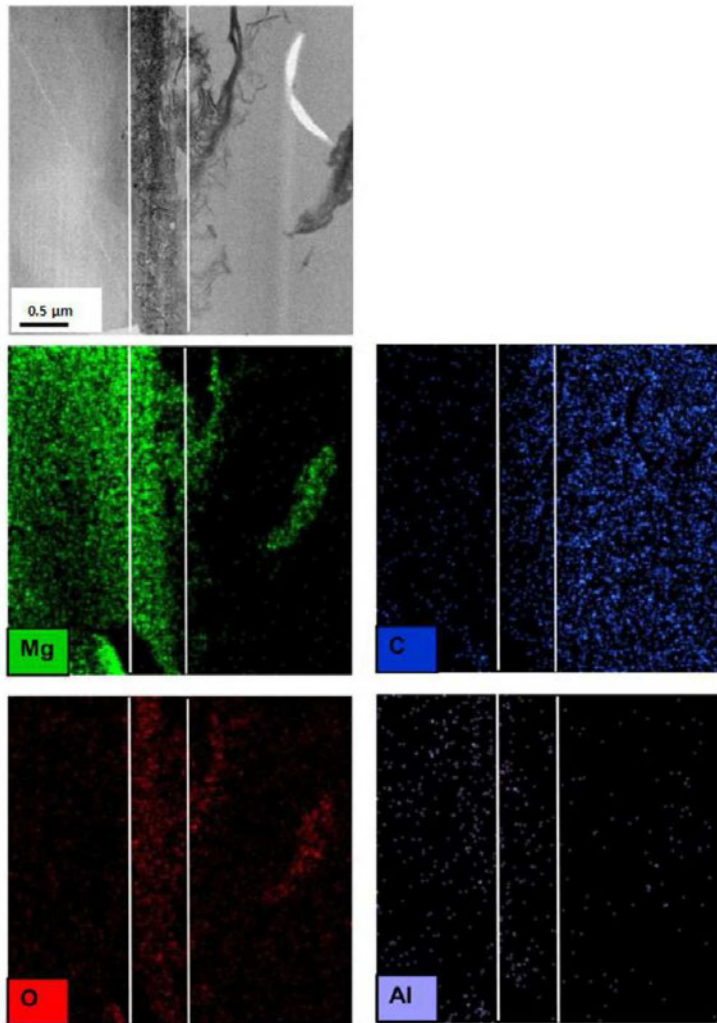
도면18



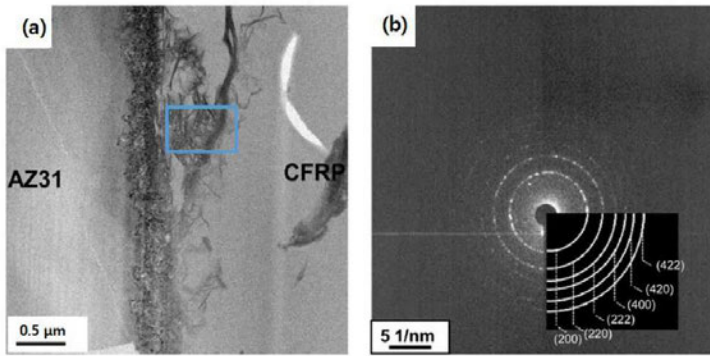
도면19



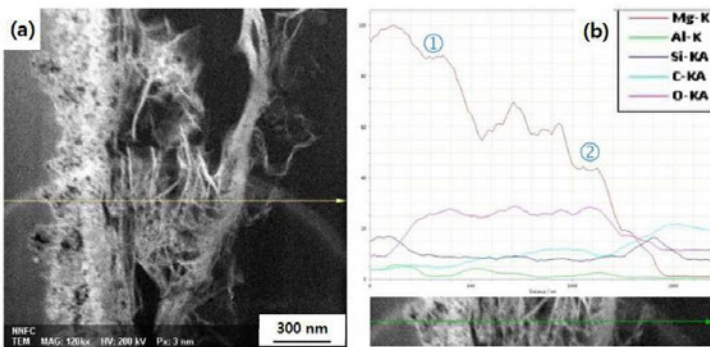
도면20



도면21



도면22



도면23

