



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0138327
(43) 공개일자 2024년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22F 1/053 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
C22C 21/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22F 1/053 (2013.01)
C22C 1/026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0031890
(22) 출원일자 2023년03월10일
심사청구일자 2023년03월10일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
이수열
대전광역시 서구 둔산북로 160, 108동 701호
최가현
대전광역시 유성구 배울2로 3, 801-1302
김유섭
대전광역시 유성구 도안동로 446 양우내안에 190
6동 1101호
(74) 대리인
특허법인아주

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 적층 제조된 알루미늄 합금의 열처리 방법

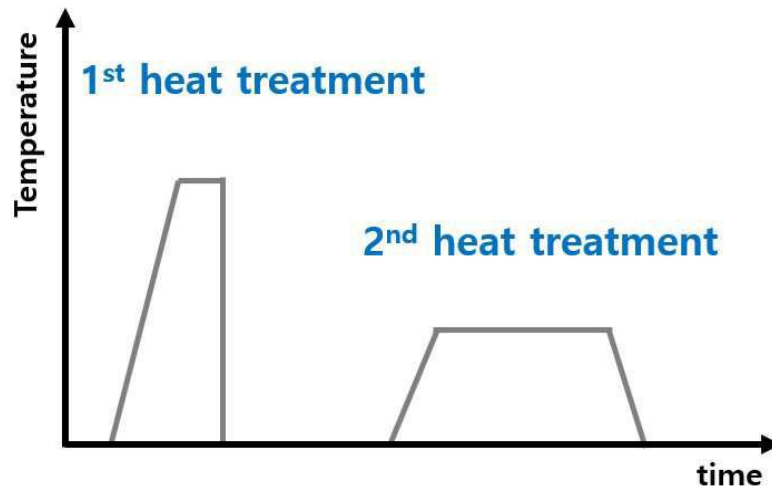
(57) 요약

본 발명에 따른 알루미늄 열처리 방법은 (a) 알루미늄 합금을 용체화 처리하는 단계; (b) 상기 용체화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계; (c) 상기 냉각된 알루미늄 합금을 승온하여 시효경화하는 단계; 및 (d) 상기 시효경화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하고, 상기 (a) 단계의 승온 속도가 V_a 이고, (c) 단계의 승온 속도가 V_c 일 때, 하기 식 1을 만족한다.

[식 1]

$V_a > V_c$

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

C22C 21/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345347398

과제번호 2020R1I1A2070474

부처명 교육부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 이공학학술연구기반구축

연구과제명 시효처리 조건에 따른 알루미늄 합금 가공 야금 중 응력완화현상 이해

기 여 율 1/1

과제수행기관명 충남대학교

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 알루미늄 합금을 용체화 처리하는 단계;
- (b) 상기 용체화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;
- (c) 상기 냉각된 알루미늄 합금을 승온하여 시효경화하는 단계; 및
- (d) 상기 시효경화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하고,

상기 (a) 단계의 승온 속도가 V_a 이고, (c) 단계의 승온 속도가 V_c 일 때, 하기 식 1을 만족하는, 알루미늄 열처리 방법:

[식 1]

$$V_a > V_c$$

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 알루미늄 합금은 선택적 레이저 용융(SLM)법으로 제조된 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 알루미늄 합금은 실리콘 3~4wt%, 철 0.1~0.2wt%, 구리 1.0~2.0wt%, 망간 0.1~0.2wt%, 마그네슘 2.0~3.0wt%, 아연 5.0~6.0wt% 및 잔량의 알루미늄을 포함하는 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 (a) 단계의 승온은 10 내지 30℃/min속도로 승온하고, 450℃ 이상에서 1 내지 2시간 동안 유지하여 용체화 처리하는 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계는 알루미늄 합금을 80 내지 90℃/sec의 속도로 급속 냉각하는 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 (c) 단계의 승온은 4 내지 30℃/min속도로 승온하고, 120℃ 이상에서 24 내지 26시간 동안 유지하는 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 (d) 단계는 공기 중에서 냉각하는 것인, 알루미늄 열처리 방법.

청구항 8

제1항에 내지 제7항의 어느 한 항의 열처리 방법으로 제조된 알루미늄 합금.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 알루미늄 합금은 Mg_7Zn_3 , $FeSi_2$, Mg_2Si , 및 $AlCu_3$ 중 어느 하나 이상의 석출물을 포함하는 것인, 알루미늄 합금.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 알루미늄 합금은 인성이 1,600 내지 1,700 MJ/m³ 이고, 연신율이 6 내지 7%인 것인, 알루미늄 합금.

청구항 11

제8항에 있어서, 상기 알루미늄 합금은 부식 전위가 -0.766V (vs. Ag/AgCl) 이상이고, 부식전류가 0.214×10^{-6} A/cm² 이하인 것인, 알루미늄 합금.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 적층 제조된 알루미늄 합금 열처리 방법 및 이에 따라 제조된 알루미늄 합금에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 선택적 레이저 용융으로 적층 제조된 알루미늄 합금의 열처리 방법 및 이에 따라 제조된 알루미늄 합금의 기계적 물성과 부식 특성에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로, 알루미늄 합금은 경량 부품의 제작에 있어서 중요한 소재이다. 특히 알루미늄 7075 합금은 열처리를 통한 석출경화형 합금으로 알루미늄 합금 중 가장 높은 강도를 가지며, 우수한 강도뿐만 아니라 성형성, 용접성, 기계 가공성 및 내식성이 우수하여 항공기 날개나 자동차 엔진 등과 같은 높은 강도와 낮은 무게가 요구되는 곳에 사용된다.

[0004] 한편, 3D 프린팅을 사용한 금속의 제작은 기존 제조공정으로 구현이 불가능한 복잡한 형상의 제작이 가능하고, 소재 절감 및 금형 비용, 불량률을 줄이고 생산성을 올릴 수 있는 장점이 있으나, 3D 프린팅을 통하여 적층 제조된 알루미늄 합금의 경우 적층가공성이 좋지 않아 형성되는 기공과 크랙 등으로 불균일한 미세조직은 물성 저하의 원인이 되고 있으며, 알루미늄 7075의 경우에도 심각한 균열이 발생하는 문제가 있다.

[0005] 이를 보완하기 위해 소량의 실리콘을 첨가하여 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting; SLM) 방식이 의해 제안되었다. SLM 방식은 적층 가공(Additive manufacturing; AM)의 한 가지 방법으로 일정한 면적을 가지는 분말 베드에 레이저 또는 전자빔을 설계 도면에 따라 선택적으로 조사하여 한층씩 용융시켜 쌓아 올리는 방식이다. 하지만 이러한 SLM 방식으로 제조된 알루미늄 합금은 낮은 연신율로 인해 전체적인 기계적 특성이 낮아지는 문제가 있다.

[0006] 따라서 SLM 방식으로 제조되는 알루미늄 합금의 단점인 낮은 연신율과 인성, 그리고 부식 특성을 향상시키는 방법의 개발이 시급한 실정이다.

[0007] 본 발명의 배경기술로 일본 공개특허공보 특표2018-519412에서는 파우더 베드 레이저 프로세스에 의해 부가 제

조되는 고강도 알루미늄 합금이 개시되나, 열처리 공정을 통하여 연성 및 부식 특성을 향상시키는 과정은 개시되지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은 선택적 레이저 용융 방법으로 적층 제조된 알루미늄 합금의 연성(Ductility)과 부식(Corrosion) 특성을 향상시킬 수 있는 다단계 열처리 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 열처리되어 연성이 개선되고, 부식 특성이 향상되며, 미세조직이 안정화되어 인성이 향상된 알루미늄 합금을 제공하기 위한 것이다.
- [0011] 본 발명의 상기 및 기타의 목적들은 하기 설명되는 본 발명에 의하여 모두 달성될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 1. 본 발명의 하나의 관점은 알루미늄 열처리 방법에 관한 것이다.
- [0014] 상기 알루미늄 열처리 방법은 (a) 알루미늄 합금을 용체화 처리하는 단계;
- [0015] (b) 상기 용체화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;
- [0016] (c) 상기 냉각된 알루미늄 합금을 승온하여 시효경화하는 단계; 및
- [0017] (d) 상기 시효경화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하고,
- [0018] 상기 (a) 단계의 승온 속도가 V_a 이고, (c) 단계의 승온 속도가 V_c 일 때, 하기 식 1을 만족한다.
- [0019] [식 1]
- [0020] $V_a > V_c$
- [0021] 2. 상기 1 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 선택적 레이저 용융(SLM)법으로 제조된 것일 수 있다.
- [0022] 3. 상기 1 또는 2 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 실리콘 3~4wt%, 철 0.1~0.2wt%, 구리 1.0~2.0wt%, 망간 0.1~0.2wt%, 마그네슘 2.0~3.0wt%, 아연 5.0~6.0wt% 및 잔량의 알루미늄을 포함할 수 있다.
- [0023] 4. 상기 1 내지 3 중 어느 하나의 구체예에서, 상기 (a) 단계의 승온은 10 내지 30℃/min 속도로 승온하고, 450℃ 이상에서 1 내지 2시간 동안 유지할 수 있다.
- [0024] 5. 상기 1 내지 4 중 어느 하나의 구체예에서, 상기 (b) 단계는 알루미늄 합금을 80 내지 90℃/sec의 속도로 급속 냉각할 수 있다.
- [0025] 6. 상기 1 내지 5 중 어느 하나의 구체예에서, 상기 (c) 단계의 승온은 4 내지 30℃/min 속도로 승온하고, 120℃ 이상에서 24 내지 26시간 동안 유지할 수 있다.
- [0026] 7. 상기 1 내지 6 중 어느 하나의 구체예에서, 상기 (d) 단계는 공기 중에서 냉각할 수 있다.
- [0027] 8. 본 발명의 다른 관점은 상기 열처리 방법으로 제조된 알루미늄 합금을 제공한다.
- [0028] 9. 상기 8 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 합금은 Mg_7Zn_3 , $FeSi_2$, Mg_2Si , 및 $AlCu_3$ 중 어느 하나 이상의 석출물을 포함할 수 있다.
- [0029] 10. 상기 8 또는 9 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 인성이 1,600 내지 1,700 MJ/m³ 이고, 연신율이 6 내지 7% 일 수 있다.
- [0030] 11. 상기 8 내지 10 중 어느 하나의 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 부식 전위가 -0.766V 이상 (vs. Ag/AgCl)이고, 부식전류가 $0.214 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 이하일 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명은 선택적 레이저 용융법으로 제조된 알루미늄 합금을 열처리하여 연성(Ductility)과 부식(Corrosion) 특성을 향상할 수 있다. 2단계로 열처리된 알루미늄 합금은 기계적 특성뿐만 아니라 전기화학적 특성이 향상되어 내식성 또한 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 열처리 방법의 공정순서도이다.

도 2는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 열처리 방법의 열처리 공정의 시간에 따른 온도 프로파일을 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 온도 및 Mg_2Si 의 농도에 따른 상태도이다.

도 4는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 시효변화에 따른 석출물의 경도 변화를 나타낸 그래프이다.

도 5a는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 열처리 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이다.

도 5b는 비교예에 따른 시효경화 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이다.

도 5c는 비교예에 따라 370℃에서 1시간 용체화처리 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이다.

도 5d는 비교예에 따라 470℃에서 1시간 용체화처리 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이다.

도 6은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금과 비교예의 석출상의 화학성분을 분석한 투과전자현미경을 이용한 에너지 분산 분광법 측정 결과 사진이다.

도 7은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금과 비교예의 석출상의 결정구조를 분석한 투과전자현미경 사진이다.

도 8은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예에 따른 합금의 인장강도, 연신율 및 인성을 비교한 그래프이다.

도 9는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 동전위 분극 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 부식 부위의 주사전자현미경 사진이다.

도 11은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 부식에 따른 두께 감소를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 다만, 하기 도면은 본 발명에 대한 이해를 돕기 위해 제공되는 것일 뿐, 본 발명이 하기 도면에 의해 한정되는 것은 아니다. 또한, 도면에 개시된 형상, 크기, 비율, 각도, 개수 등은 예시적인 것이므로 본 발명이 도시된 사항에 한정되는 것은 아니다.

[0036] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0037] 본 명세서 상에서 언급한 '포함한다', '갖는다', '이루어진다' 등이 사용되는 경우 '~만'이 사용되지 않는 이상 다른 부분이 추가될 수 있다. 구성 요소를 단수로 표현한 경우에 특별히 명시적인 기재 사항이 없는 한 복수를 포함하는 경우를 포함한다.

[0038] 구성 요소를 해석함에 있어서, 별도의 명시적 기재가 없더라도 오차 범위를 포함하는 것으로 해석한다.

- [0039] 본 명세서에서, 수치범위를 나타내는 "a 내지 b"는 " $\geq a$ 이고 $\leq b$ "으로 정의한다.
- [0041] 본 발명자는 선택적 레이저 용융법(Selective Laser Melting)으로 제조된 알루미늄 합금의 단점인 낮은 연신율(Ductility)과 부식(Corrosion) 특성을 개선하기 위하여 노력하던 중 2 단계의 열처리 공정 온도 프로파일을 설정하여 1차 열처리 과정에서 과포화 고용체를 형성하고, 2차 열처리에서 시효경화를 통하여 Mg_2Si 상을 석출시켜 인성 및 연신율을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 부식전위는 높이고 부식전류를 감소시켜 내식성 또한 향상시킬 수 있는 것을 확인하여 본 발명을 완성하였다.
- [0042] 이하, 도면을 참조하면, 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 열처리 방법을 설명한다.
- [0043] 도 1은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 열처리 방법의 공정순서도이고, 도 2는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 열처리 방법의 열처리 공정의 시간에 따른 온도 프로파일을 나타낸 그래프이다.
- [0044] 도 1 및 2를 참조하면, 알루미늄 열처리 방법은 (a) 알루미늄 합금을 용체화 처리하는 단계;
- [0045] (b) 상기 용체화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;
- [0046] (c) 상기 냉각된 알루미늄 합금을 승온하여 시효경화하는 단계; 및
- [0047] (d) 상기 시효경화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각하는 단계;를 포함한다.
- [0048] 우선 알루미늄 합금을 용체화 처리한다(S100).
- [0049] 상기 알루미늄 합금은 선택적 레이저 용융법(이하 'SLM')으로 제조된 것일 수 있다. 상기 알루미늄 합금은 높은 강도를 가지며, 가공성이 좋으나, 취성이 있으며, 부식되기 쉬운 문제가 있다.
- [0050] 한 구체예에서, 상기 알루미늄 합금은 실리콘 3~4wt%, 철 0.1~0.2wt%, 구리 1.0~2.0wt%, 망간 0.1~0.2wt%, 마그네슘 2.0~3.0wt%, 아연 5.0~6.0wt% 및 잔량의 알루미늄을 포함할 수 있다. 바람직하게는 아연 5.6wt%, 실리콘 4wt%를 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 알루미늄 합금은 상기 범위의 조성을 포함하여 SLM 적층이 가능하나, 알루미늄 7000 계 합금보다 기계적 물성이 감소되기 때문에 열처리 조건을 개선하여 이를 보완하는 경우에는 SLM으로 제조된 알루미늄 합금 또한 7000계 합금과 동등한 기계적 물성을 나타낼 수 있다. 특히 상기 범위 내로 실리콘을 포함하여 가공성이 증가되며, 열처리를 통하여 강도가 증가될 수 있다. 상기 실리콘은 용체화 처리 후 인공 시효하는 경우 강도를 효과적으로 증가시킬 수 있다.
- [0052] 한 구체예에서, S100은 상온부터 10 내지 30℃/min 속도로 승온하고, 450℃ 이상에서 1 내지 2시간 동안 유지하여 용체화 처리할 수 있다.
- [0053] 상기 승온 범위 내에서 상온부터 천천히 온도를 증가시켜 알루미늄 합금원소가 용해되어 과포화 상태가 되도록 할 수 있고, 알루미늄 합금의 내부 조직을 균일하게 가열하여 고용체를 형성할 수 있다. 한편 450℃까지 천천히 승온시킨 후 1시간 이상 유지하여, 고용체가 모재에 재고용 되도록 할 수 있다.
- [0054] 다음으로 용체화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각한다(S200).
- [0055] 상기 냉각은 알루미늄 합금을 80 내지 90℃/sec의 속도로 급속 냉각할 수 있다. 상기 범위 내에서 급속 냉각하는 경우 과포화 고용체가 형성된다.
- [0056] 2개의 상이 존재하는 영역의 합금을 일정 온도까지 가열하여 단일상으로 형성한 다음 상온까지 급냉시키면 다른 상이 확산을 통해 석출되어야 하지만, 상기 범위의 속도로 급냉하는 경우에는 확산하지 못하고 석출되는 과포화 고용체가 형성되며, 고용체의 석출반응을 방지할 수 있다.
- [0057] 상기 냉각된 알루미늄 합금을 승온하여 시효경화한다(S300).
- [0058] 구체적으로 상기 S100 및 상기 S300에서 S100의 승온 속도가 V_a 이고, S300의 승온 속도가 V_c 일 때, 하기 식 1을 만족한다.
- [0059] [식 1]
- [0060] $V_a > V_c$

- [0061] 상기 S300의 열처리는 과포화된 고용체를 재열처리하여 인장강도, 인성, 연신율 및 내식성을 향상시킬 수 있다.
- [0062] 한 구체예에서, 승온은 4 내지 30℃/min 속도로 승온하고, 120℃ 이상에서 24 내지 26시간 동안 유지할 수 있다. 상기 속도 범위에서 상기 S100의 열처리 온도보다 낮은 속도로 천천히 승온하여 알루미늄 합금의 내부까지 균일하게 가열할 수 있다. 가열 후 120℃ 이상에서 24 내지 26시간 동안 유지할 수 있으며, 바람직하게는 24시간 동안 120℃를 일정하게 유지시켜 Mg₂Si를 포함하는 석출상을 조직 내에서 미세하게 분산 석출함으로써 알루미늄 합금을 시효경화(Aging hardening)할 수 있다.
- [0063] 상기 S100 및 S300의 승온속도가 상기 식 1을 만족하는 경우 본 발명의 효과를 나타낼 수 있다.
- [0064] 이후 시효경화된 알루미늄 합금을 상온까지 냉각한다(S400).
- [0065] 이 때 공기 중에서 냉각하여 추가적인 에너지 소모 없이 냉각하여 인성과 연신율이 증가된 알루미늄 합금을 수득할 수 있다.

[0067] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 하나, 이러한 실시예들은 단지 설명의 목적을 위한 것으로, 본 발명을 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0069] 실시예

[0070] 선택적 레이저 용융법(Selective Laser Melting)을 이용하여 하기 표 1의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 제조하였다.

표 1

[0071]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
조성(wt%)	3.653	0.128	1.464	0.13	2.315	5.430	Bal.

[0072] 알루미늄 합금은 전기로 내에서 상온(27℃)부터 15℃/min의 속도로 가열하고, 450℃에서 1시간 동안 유지시켰다. 이후 알루미늄 합금에 직접 주수하여 80℃/sec 속도로 급냉하여 1차 열처리를 마쳤다. 열처리 후의 알루미늄 합금을 다시 10℃/sec의 속도로 가열하고 로 내에서 120℃를 24시간 동안 유지시켰다. 이후 상온에서 공냉하여 열처리가 완료된 알루미늄 합금을 회수하였다.

[0074] 비교예 1

[0075] 선택적 레이저 용융법으로 상기 표 1의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 준비하고 별도의 열처리를 수행하지 않았다.

[0077] 비교예 2

[0078] 선택적 레이저 용융법으로 상기 표 1의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 준비하고, 10℃/min의 속도로 가열한 후에, 120℃에서 24시간 동안 유지시킨 후 알루미늄 합금을 회수하였다.

[0080] 비교예 3

[0081] 선택적 레이저 용융법으로 상기 표 1의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 준비하고, 15℃/min의 속도로 가열한 후에, 370℃에서 1시간 동안 유지시킨 후 알루미늄 합금에 직접 주수하여 80℃/sec 속도로 급냉한 후 알루미늄 합금을 회수하였다.

[0083] 비교예 4

- [0084] 선택적 레이저 용융법으로 상기 표 1의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 준비하고, 15℃/min의 속도로 가열한 후, 470℃에서 1시간 동안 유지시킨 후 알루미늄 합금에 직접 주수하여 80℃/sec 속도로 급냉한 후 알루미늄 합금을 회수하였다.
- [0086] **물성평가**
- [0087] 다단 열처리가 알루미늄 합금을 조직에서 Mg₂Si 석출상을 통하여 경도변화를 나타낼 것으로 예상하였다.
- [0088] 도 3은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 온도 및 Mg₂Si의 농도에 따른 상태도이다.
- [0089] 도 3을 참조하면, 실시예에 따른 알루미늄 합금은 용체화 처리 온도 구간으로 승온하면, α 상으로 Mg₂Si가 모두 고용되고 냉각을 통해 고용 한계가 감소되어 과포화 고용체를 형성한 후 시효처리를 통해 과포화 고용체가 석출되면서 시효경화가 일어난다. 용체화 처리 온도는 높을수록 시효 전 합금의 균일한 조직을 수득할 수 있으나, 너무 높으면 결정립이 과도하게 성장하고 산화가 발생하는 문제가 있기 때문에 처리온도의 제한이 필요한 것을 확인하였다. 용체화 처리의 냉각속도는 빠를수록 시효 이후의 경도가 증가되고, 시효 시 전면석출의 양의 증가하여 연신율과 항복강도, 인장강도가 증가하였다.
- [0090] 도 4는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 시효변화에 따른 석출물의 경도 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0091] 도 4를 참조하면, 2차 열처리 과정에서 GP zone과 β', β"의 중간상들을 거치면서 정점(peak hardness)를 지나 β 상인 Mg₂Si가 형성되어 시효경화 되는 것을 확인하였다.
- [0092] 도 5a는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금의 열처리 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이고, 도 5b는 비교예에 따른 시효경화 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이며, 도 5c는 비교예에 따라 370℃에서 1시간 용체화처리 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이고, 도 5d는 비교예에 따라 470℃에서 1시간 용체화처리 열처리 온도 프로파일과 미세조직의 광학현미경 사진이다.
- [0093] 실시예 및 비교예 1 내지 4의 미세구조는 Olympus BX51M 광학현미경(OM)을 사용하여 500배에서 측정하였다. 이때 에칭 시약은 perchloric 10%를 사용하여 전해연마하였다.
- [0094] 도 5를 참조하면, 비교예 2의 경우 1차 열처리로 120℃에서 24시간 시효처리한 경우 미세조직은 어두운 반구형의 띠를 가지고 있으며, 이는 선택적 레이저 용융 과정을 통해 형성되는 멜트 풀(melt pool)의 경계(boundary)로 20 μm 정도의 두께를 가지며 조직의 변화가 없는 것을 확인하였다.
- [0095] 비교예 3의 경우 미세조직은 멜트 풀 경계가 거의 사라지고 희미한 선만 남았으며, 비교예 4의 경우 멜트 풀 경계가 모두 사라지고 고용체가 모재에 모두 고용되어 검은색 석출물을 형성하였다. 이에 반해 실시예의 경우 멜트 풀이 나타나지 않고 검은 점으로 나타나는 고용체들이 조건 3에 비해 더 많이 형성되어 있는 것을 확인하였다. 따라서 1차 열처리로 시효처리하는 것은 미세조직의 변화를 유도하지 못하며, 용체화 처리의 경우에도 470℃ 이상의 온도까지 승온하여 일정 시간 유지하는 경우 고용체들이 더 다수 형성될 수 있는 것을 확인하였다.
- [0096] 도 6은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금과 비교예의 석출상의 화학성분을 분석한 투과전자현미경을 이용한 에너지 분산 분광법 측정 결과 사진이다.
- [0097] 실시예 및 비교예 1, 2 및 4의 시료는 Focused ion beam (FIB)으로 가공하여 Cs-corrected STEM(JEM-RM200F, JEOL)을 사용하여 측정하였다.
- [0098] 도 6을 참조하면, 비교예 1 및 비교예 2의 경우 나노사이즈를 갖는 Si 화합물과 Cu 석출물이 형성되어 있는 것을 확인하였다. 비교예 4의 경우 용체화처리를 통해 Cu 석출물이 모재에 모두 고용되고 상온에서의 자연 시효에 따라 노란색, 분홍색, 하늘색의 세가지 석출물이 형성된 것을 확인하였다. 실시예의 경우 고온 시효에 따라 비교예 4에 비해 더 크고 많은 석출물이 형성되었다. 1차 열처리로 시효처리하는 경우 석출물을 형성하지 못하며 용체화처리에서도 본 발명의 온도 범위에 도달하지 못하는 경우 석출물의 형성 효과가 떨어지는 것을 확인하였다.
- [0099] 도 7은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금과 비교예의 석출상의 결정구조를 분석한 투과전자현미경 사진이다.

[0100] 도 7을 참조하면, 비교예 1 및 비교예 2는 Al_4Cu_9 를 포함하고, 비교예 4는 Mg_7Zn_3 , FeSi_2 , Al_2Cu 가 석출되었으며, 실시예의 경우 Mg_7Zn_3 , FeSi_2 , 이외에 추가적으로 더 다수의 Mg_2Si , AlCu_3 가 석출되는 것을 확인하였다. 실시예에 석출물은 알루미늄 합금의 인성 및 연신율에 영향을 미치는 것으로 예측되었다.

[0101] 도 8은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예에 따른 합금의 인장강도, 연신율 및 인성을 비교한 그래프이다.

[0102] 단축 인장 시험(Uniaxial tensile test)은 ASTM - E8 규격에 따라 인장 시편을 가공하였으며, 적층 방향(Building direction) 이 인장 시편의 두께 방향이 되도록 가공하였다. 만능재료시험기 (UT-020E, MTDI)를 사용하여, 인장시험은 표점 거리(gauge length)가 10 mm인 신율계(extensometer)를 사용하였고, 3.8×10^{-4} 의 strain rate로 변형하였다.

[0103] 도 8은 참조하면, 열처리를 수행하지 않는 비교예 1의 인장강도는 330 MPa, 연신율은 0.8 %과 인성은 198 MJ/m^3 으로 확인되었으며, 비교예 2의 경우 시효처리 후에도 비교예 1과 비슷한 물성을 나타내었다. 반면에 비교예 4의 용체화 처리 후 알루미늄 합금은 인장강도가 감소되었으나, 연신율은 5%, 인성은 1030 MJ/m^3 까지 증가되었으며, 실시예의 경우 연신율은 6.6%로 비교예 1에 비해 8배 증가, 비교예 2에 비해서는 약 10배 증가하였으며, 인성은 약 7배 증가하였다. 한편 실시예는 비교예 4와 비교하여 인장강도가 증가되고, 연신율은 1.3배, 인성은 약 1.5배 증가하였다. 따라서 시효 열처리는 용체화 처리 없이 했을 경우(비교예 2) 재료의 기계적 물성 향상에 영향을 미치지 못하며, 용체화 처리와 급냉을 통해 고용체를 형성했을 경우(비교예 4) 강도는 다소 감소하지만 인성과 연신율은 증가하였고, 실시예에서, 용체화 처리와 시효처리의 2단계 열처리를 했을 경우 시효 처리를 통해 Mg_2Si 가 석출되며, 비교예 4에 비해 강도 및 인성이 증가하는 것을 확인하였다.

[0104] 도 9는 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 동전위 분극 실험 결과를 나타낸 그래프이고, 도 10은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 부식 부위의 주사전자현미경 사진이며, 도 11은 본 발명의 한 구체예에 따른 알루미늄 합금 및 비교예의 부식에 따른 두께 감육을 나타낸 그래프이다.

[0105] 동전위 분극실험은 Bio-Logic의 Potentiostat SP-50, 150을 사용하였다. 레퍼런스는 Ag/AgCl NaCl 3M, 용액은 NaCl 1M로, 시편은 SiC paper 2000방에서 5분간 연마하고 진공 desiccator에 하루 보관하였다. Open circuit voltage는 1시간 동안, Scan rate는 1.666 mV/s , E range는 $-2 \sim 2 \text{ V}$ 로 설정하였다. 실험 결과는 EC-lab 프로그램을 사용하여 Tafel 분석을 수행하여 부식 속도를 계산하였다. 부식된 시편은 단면을 연마하여 광학현미경으로 관찰하고 Image J 프로그램을 사용하여 두께 감육과 공식 깊이(pit depth)를 측정하였다.

표 2

열처리	비교예 1	비교예 2	비교예 4	실시예
부식 전위(V)	-0.855	-0.883	-0.765	-0.766
부식전류(A/cm^2)	3.345×10^{-6}	0.189×10^{-6}	0.259×10^{-6}	0.214×10^{-6}
부식속도(mmpy)	0.0359	0.0020	0.0027	0.0022
두께감육(mm)	1.568	0.072	0.039	0
최대공식깊이(mm)	0.125	0.102	0.196	0.083

[0107] 상기 표 2는 실시예 및 비교예의 부식전위에 따른 두께 감육을 비교한 것이다.

[0108] 도 9 내지 11 및 표 1을 참조하면, 실시예에서 부식전위는 높아지고, 부식전류가 가장 낮아지는 것을 확인하였으며, 조건 별 부식속도는 비교예 1 대비 비교예 2에서 약 1.2배, 비교예 4에서는 5.3배, 실시예는 6.5배 감소하였다. 이에 따른 재료의 두께 감육과 최대공식깊이를 측정 한 결과 부식속도에 비례한 두께 감육 정도를 확인하였다. 실시예의 2단계 열처리는 알루미늄 합금의 내식성을 증가시키기 위해서 최적의 조건인 것을 확인하였다.

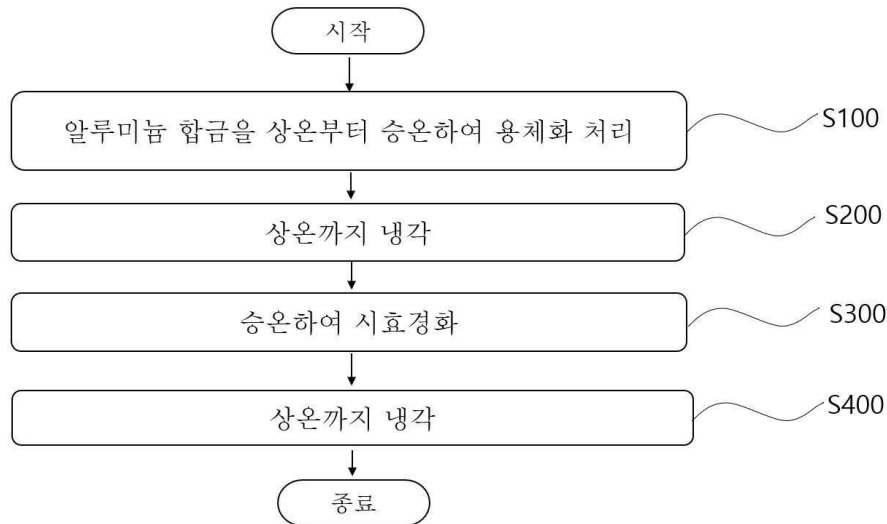
[0109] 따라서 본 발명에 따른 알루미늄 열처리 방법은 선택적 레이저 용융으로 제조되는 알루미늄 합금의 연성과 부식 특성을 향상시킬 수 있으며, 내식성을 부여하여 SLM으로 제조된 알루미늄 합금의 활용성을 크게 증가시킬 수 있다.

[0111]

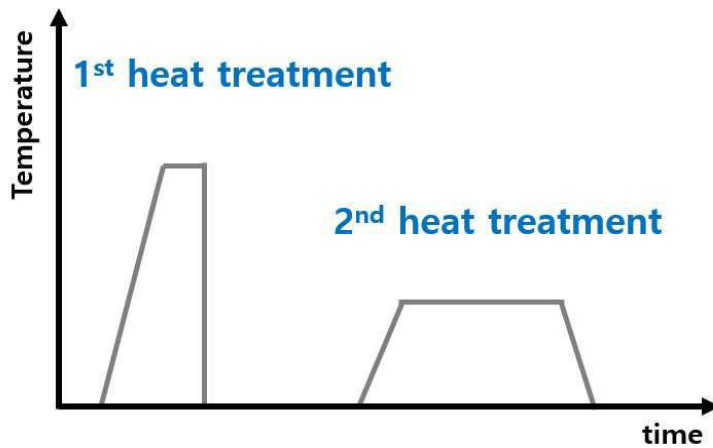
이제까지 본 발명에 대하여 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

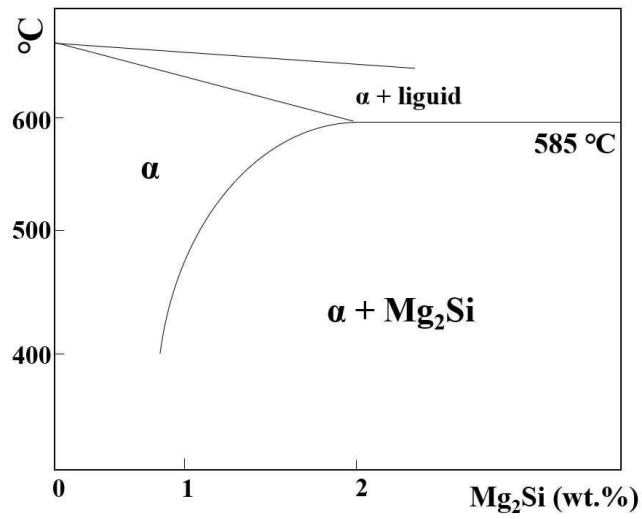
도면1



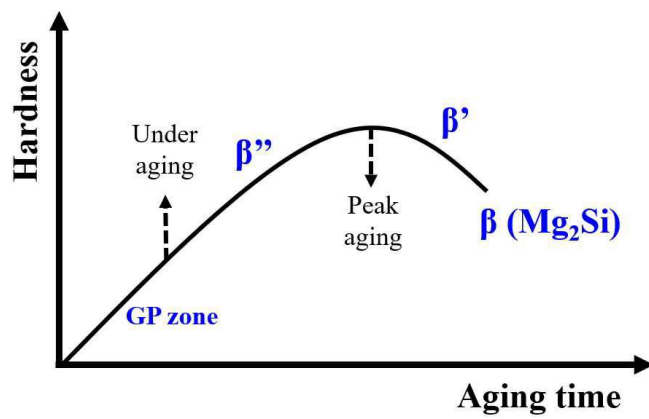
도면2



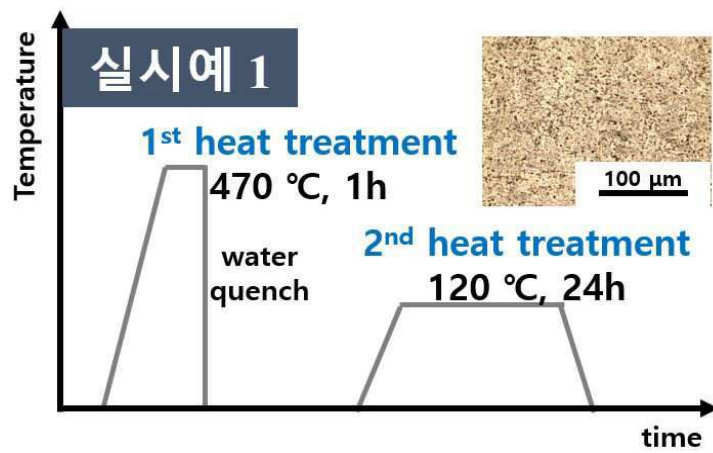
도면3



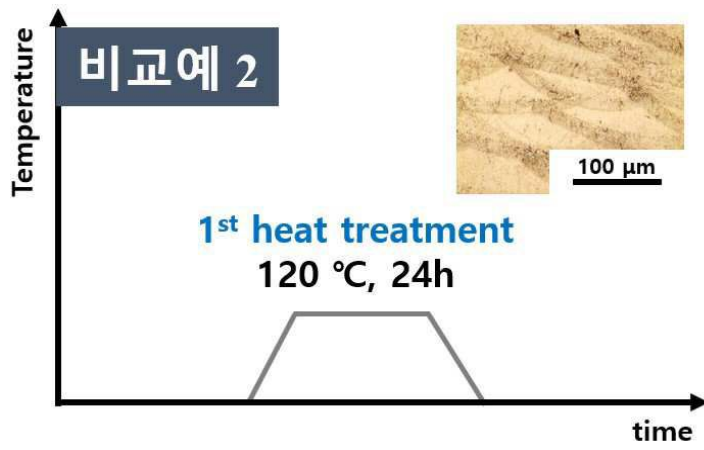
도면4



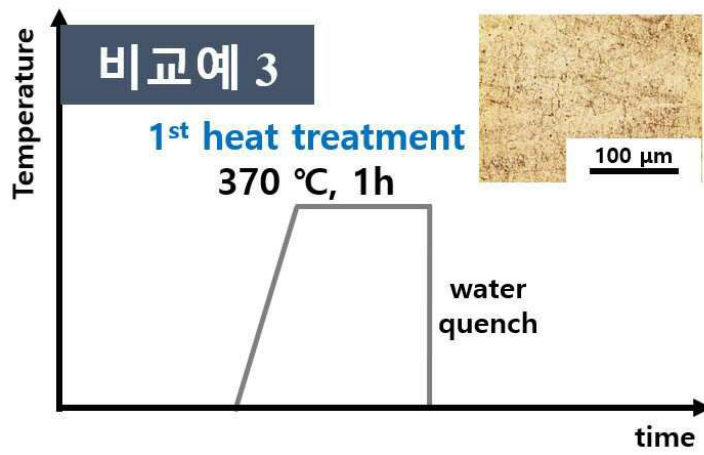
도면5a



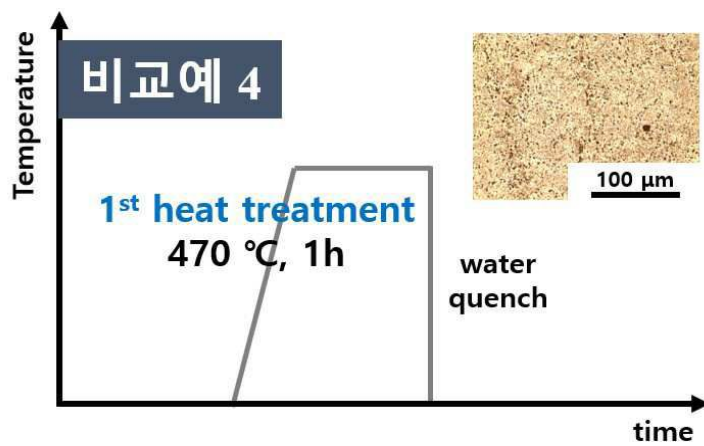
도면5b



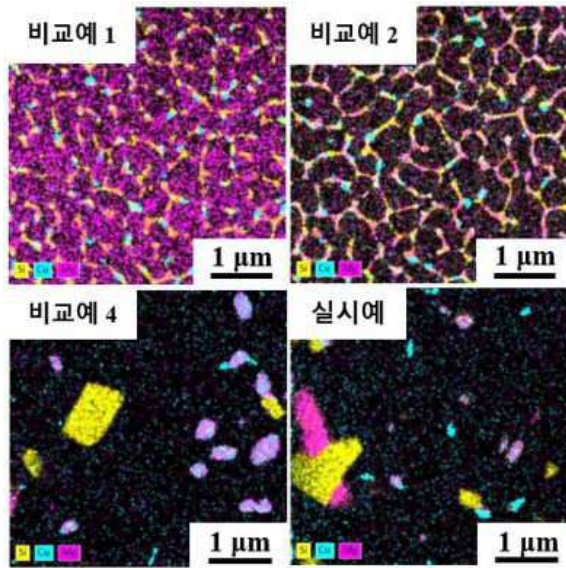
도면5c



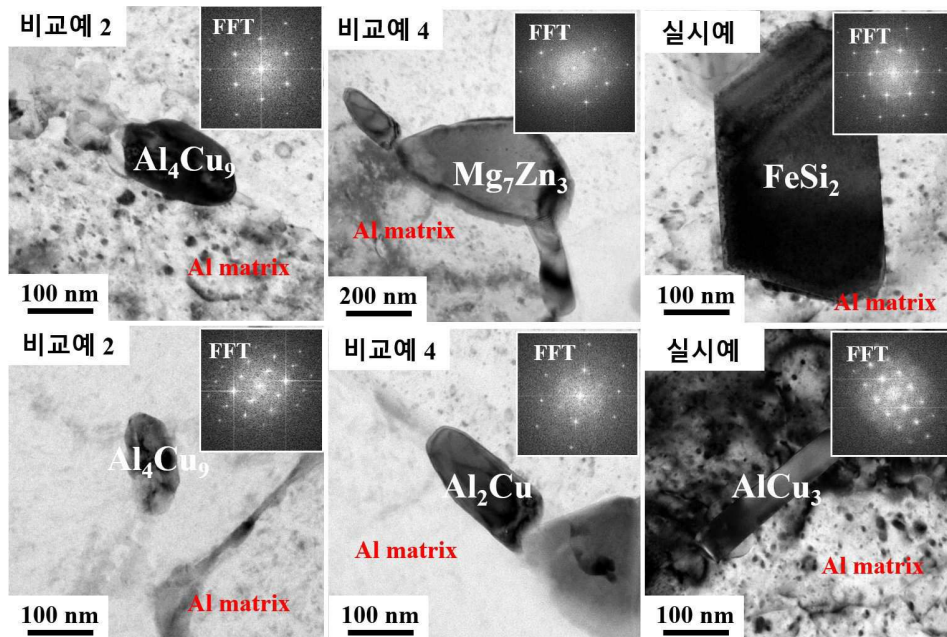
도면5d



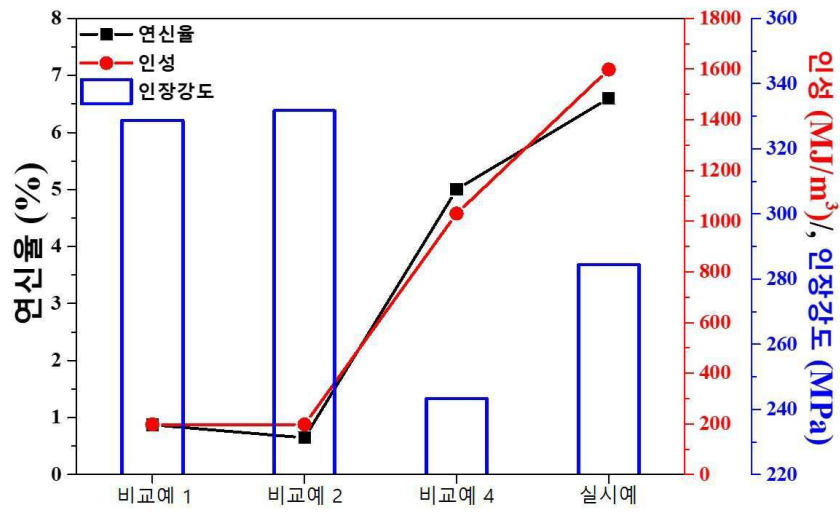
도면6



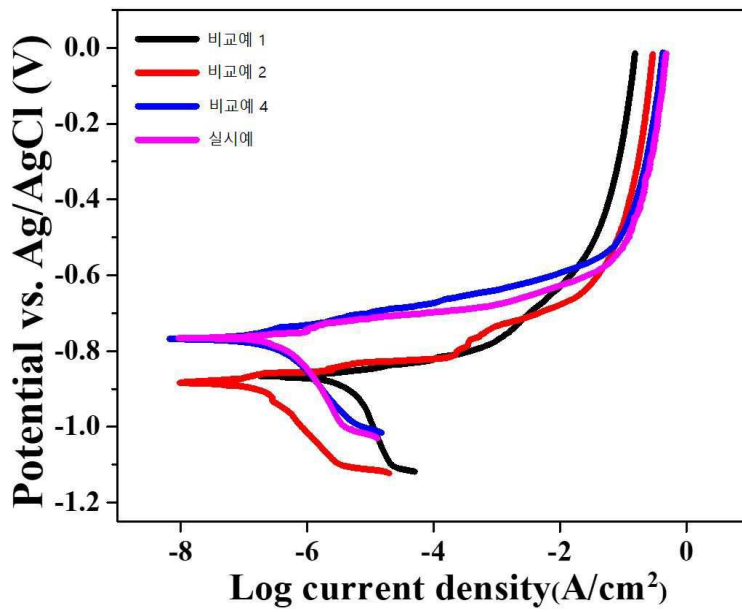
도면7



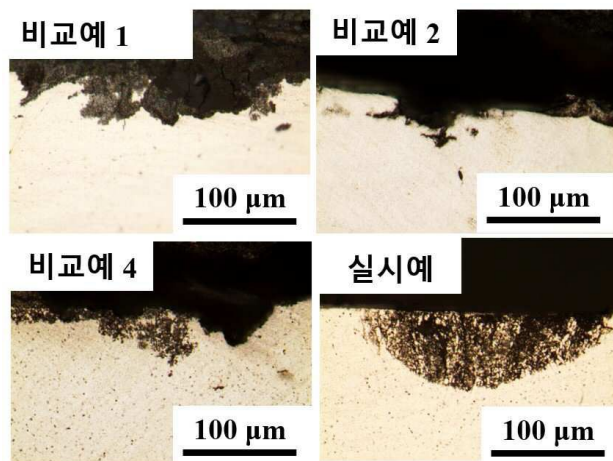
도면8



도면9



도면10



도면11

