



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0014282
(43) 공개일자 2017년02월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 21/10 (2006.01) C22F 1/04 (2006.01)
C22F 1/053 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 21/10 (2013.01)
C22F 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0107348
(22) 출원일자 2015년07월29일
심사청구일자 2015년07월29일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)
(72) 발명자
한승전
경상남도 창원시 성산구 외리로34번길 13, 106동
202호 (성주동, 한림푸르지오아파트)
안지혁
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797, 재료연구
소 (상남동)
이재현
서울특별시 강동구 고덕로62길 76, 5동 303호 (명
일동, 우성아파트)
(74) 대리인
박지호, 문경혜

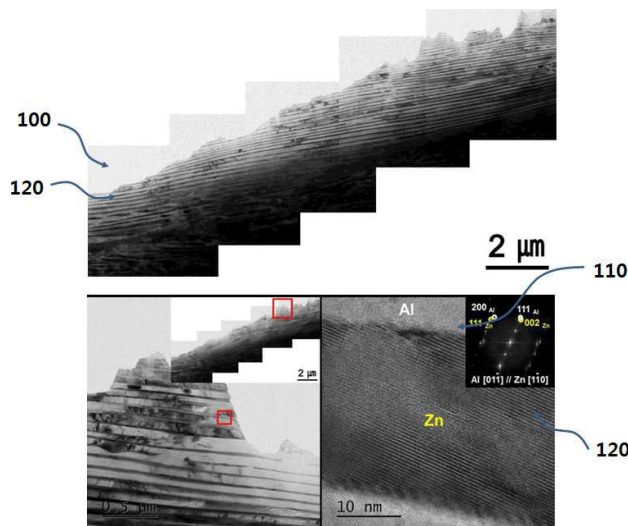
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료 및 이의 제조 방법

(57) 요약

배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료 및 이의 제조 방법은 합금 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과인 아연을 포함하는 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금을 이용하여 단위 면적당 40% 이상으로 강제로 생성된 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 소성가공으로 배향시킨 배향형 석출물을 포함하고, 상기 배향형 석출물들 사이의 거리가 250 nm 이하이다. 이에 따라, 금속복합재료의 인장강도 및 연신율을 모두 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22F 1/053 (2013.01)

C22C 2202/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711001922

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 미래창조과학부

연구사업명 선도연구센터지원사업

연구과제명 메카트로닉스 융합 부품 소재 연구센터

기 여 율 1/1

주관기관 창원대학교 산학협력단

연구기간 2011.09.07 ~ 2018.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

합금 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과 의 아연을 포함하는 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금이고,
단위 면적당 40% 이상으로 강제로 생성된 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 소성가공으로 배향시킨 배향형 석출물을 포함하며,
상기 배향형 석출물들 사이의 거리가 250 nm 이하인,
배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 2

제1항에 있어서,
단면적 감소율(인발율)이 50% 이상 95% 이하인 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 배향형 석출물들은 0.4 μm 내지 15 μm 의 길이를 갖는 섬유상을 포함하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 4

제1항에 있어서, 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물은
상기 알루미늄-아연 합금을 용체화처리 또는 균질화처리를 실시하여 고용체를 생성한 후 시효처리하여 형성된 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 고용체는
시효 처리 전에, 급냉(water quenching)시켜 형성한 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 시효 처리는 2시간 이상 수행된 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 7

제1항에 있어서,
알루미늄-아연(Al-Zn) 합금은 석출촉진 금속과 함께 용체화처리 또는 균질화처리된 것을 특징으로 하는, 배향형

석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 8

전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연 및 70 중량% 미만의 알루미늄을 포함하고, 배향형 아연 석출물이 알루미늄과 함께 불연속 셀룰라 구조 또는 라멜라 구조를 형성하며,

상기 배향형 아연 석출물들 사이의 거리가 250 nm 이하인 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 배향형 아연 석출물들은 0.4 μm 내지 15 μm 의 길이를 갖는 섬유상인 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 10

제8항에 있어서, 티타늄(Ti) 및 바나듐(V) 중 적어도 어느 하나의 금속을 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료.

청구항 11

합금 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연을 포함하는 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금을 준비하는 단계;

상기 알루미늄-아연 합금을 용체화 처리 또는 균질화 처리하여 고용체를 형성하는 단계;

상기 고용체를 포함하는 알루미늄-아연 합금을 시효 처리하여, 강제로 단위면적당 40% 이상의 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하는 석출물 형성 단계; 및

상기 석출물을 포함하는 알루미늄-아연 합금을 소성 가공하여, 서로 이격된 거리가 250 nm 이하인 배향형 석출물들 형성하는 배향 단계를 포함하는,

배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 배향 단계는

인발율이 50% 이상 95% 이하로 수행하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 고용체를 형성하는 단계는

상기 알루미늄-아연 합금은 용체화처리 또는 균질화처리를 실시하여 고용체를 형성하는 단계; 및

상기 고용체를 수냉(water quenching) 처리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 14

제11항에 있어서, 상기 고용체를 형성하는 단계는

150 내지 450℃의 온도 범위에서 120분 이상 가열하여 수행하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 15

제11항에 있어서, 상기 석출물 형성 단계는

120 내지 200℃의 온도 범위에서 상기 고용체를 형성하는 단계보다 낮은 온도에서 수행하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 16

제11항에 있어서, 상기 알루미늄-아연 합금을 준비하는 단계에서

상기 알루미늄-아연 합금에 티타늄(Ti) 및 바나듐(V) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 석출 촉진 금속을 첨가하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

청구항 17

제11항에 있어서, 상기 배향형 석출물들 형성하는 배향 단계는

액체 질소 분위기에서 수행하는 것을 특징으로 하는, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 물리적 특성, 특히 연신율 및 인장강도가 모두 향상된 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 알루미늄 합금(aluminum alloy)은 가볍고 강도가 높은 합금으로서, 내부식성과 열전도성이 다른 금속합금에 비해 월등히 우수한 특성을 갖는다. 알루미늄 그 자체도 내식성이 우수하지만 기계적 성질이 낮으므로, 알루미늄과 함께 구리, 실리콘, 마그네슘, 니켈, 코발트, 지르코늄, 세륨, 아연 등과 같은 금속 중 1 또는 2 이상을 포함하는 알루미늄 합금이 다양한 산업 분야, 특히 자동차, 선박, 항공기 등의 내/외장재와 같은 구조재로 널리 이용되고 있다.

[0003] 알루미늄 합금 중에서, 알루미늄-아연 합금(aluminum-zinc alloy)은 알루미늄의 경도를 향상시키기 위해 오래전부터 이용되고 있는 알루미늄 합금으로서, 보통 알루미늄-아연 합금은 합금 전체 중량에 대해서 10 내지 14 중량%의 아연을 포함한다. 이때, 알루미늄-아연 합금은 추가적으로 3 중량% 정도의 구리를 더 포함하기도 한다.

[0004] 자동차, 선박, 항공기 등의 구조재로 이용되기 위해서는, 인장강도, 연신율 및 충격 흡수에너지 등이 중요한 요소로 고려된다. 인장강도를 증가시키기 위해서, 석출경화, 분산강화, 가공경화, 고용강화, 결정립 미세화 등과 관련된 연구가 계속 진행되고 있는데, 이 중에서 석출경화는 열처리 과정에서 서로 다른 2개의 상(phase)이 석출되고, 석출물이 전위의 이동을 방해함에 따라 강도가 증가하는 원리(Orwan strengthening)를 이용하는 것이다.

[0005] 알루미늄-아연 합금의 석출경화 공정에서는, 과포화 고용체로부터 석출되어 시편 전체에 작고 균일하게 분포하는 연속 석출물(continuous precipitation, CP)과, 그레인 경계 확산(grain boundary diffusion) 및 입계의 이동에 의해 석출이 불규칙적으로 일어남에 따라 입계를 경계로 조성과 결정방위가 불연속적으로 변화하는 불연속 석출물(discontinuous precipitation, DP)이 생성된다.

[0006] 불연속 석출물(DP)로 이루어진 시편의 강도가, 연속 석출물(CP)에 비해서 낮기 때문에 인장강도가 높은 알루미늄-아연 합금의 제조를 위해서 불연속 석출물(DP)를 억제하는 연구가 활발히 진행되고 있으나, 일반적으로 인장강도와 연신율은 어느 하나의 특성이 향상되면 다른 하나의 특성이 감소되는 트레이드-오프(trade-off) 관계에 있기 때문에 인장강도와 연신율을 동시에 향상시키기 어려운 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 일 목적은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 인장강도와 연신율이 모두 향상된, 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료를 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 상기 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 목적을 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료는, 합금 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연을 포함하는 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금을 이용하여 단위 면적당 40% 이상으로 강제로 생성된 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 소성가공으로 배향시킨 배향형 석출물을 포함하고, 상기 배향형 석출물들 사이의 거리가 250 nm 이하이다.

[0010] 일 실시예에서, 상기 금속복합재료는 단면적 감소율(인발율)이 50% 이상 95% 이하일 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 배향형 석출물들은 0.4 μm 내지 15 μm 의 길이를 갖는 섬유상을 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물은 상기 알루미늄-아연 합금을 용체화처리 또는 균질화처리를 실시하여 고용체를 생성한 후 시효처리하여 형성될 수 있다. 이때, 상기 고용체는 시효 처리 전에, 급냉(water quenching)시켜 형성할 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 시효 처리는 2시간 이상 수행될 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금은 석출촉진 금속과 함께 용체화처리 또는 균질화처리될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 목적을 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료는, 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연 및 70 중량% 미만의 알루미늄을 포함하고, 알루미늄이 형성하는 매트릭스 내에서 배향형 아연 석출물이 불연속 셀룰라 구조 또는 라멜라 구조를 형성하며, 상기 배향형 아연 석출물들 사이의 거리가 250 nm 이하이다.

[0016] 일 실시예에서, 상기 배향형 아연 석출물들은 0.4 μm 내지 15 μm 의 길이를 갖는 섬유상일 수 있다.

[0017] 일 실시예에서, 상기 금속복합재료는 티타늄(Ti) 및 바나듐(V) 중 적어도 어느 하나의 금속을 더 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 목적을 위한 본 발명의 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료의 제조 방법은, 합금 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연을 포함하는 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금을 준비하는 단계, 상기 알루미늄-아연 합금을 용체화 처리 또는 균질화 처리하여 고용체를 형성하는 단계, 상기 고용체를 포함하는 알루미늄-아연 합금을 시효 처리하여, 강제로 단위면적당 40% 이상의 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하는 석출물 형성 단계, 및 상기 석출물을 포함하는 알루미늄-아연 합금을 소성 가공하여, 서로 이격된 거리가 250 nm 이하인 배향형 석출물들 형성하는 배향 단계를 포함한다.

[0019] 일 실시예에서, 상기 배향 단계는 인발율이 50% 이상 95% 이하로 수행할 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 고용체를 형성하는 단계는 상기 알루미늄-아연 합금은 용체화처리 또는 균질화처리를 실시하여 고용체를 형성하는 단계 및 상기 고용체를 수냉(water quenching) 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 상기 고용체를 형성하는 단계는 150 내지 450 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 120분 이상 가열하여 수행할 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, 상기 석출물 형성 단계는 120 내지 200 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 상기 고용체를 형성하는 단계보다 낮은 온도에서 수행할 수 있다.

[0023] 일 실시예에서, 상기 알루미늄-아연 합금을 준비하는 단계에서 상기 알루미늄-아연 합금에 티타늄(Ti) 및 바나듐(V) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 석출 촉진 금속을 첨가할 수 있다.

[0024] 일 실시예에서, 상기 배향형 석출물들 형성하는 배향 단계는 액체 질소 분위기에서 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 본 발명의 배향형 석출물을 포함하는 금속복합재료 및 이의 제조 방법에 따르면, 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 소성가공으로 배향시킨 배향형 석출물에 의해 금속복합재료의 인장강도 및 연신율을 동시에 향상시킬 수 있다. 이는, 가공경화와 섬유강화의 시너지 효과에 의해서 구현될 수 있다.

[0026] 뿐만 아니라, 본 발명에 따른 금속복합재료의 충격 흡수율도 향상될 수 있다.

[0027] 또한, 석출촉진금속을 첨가함으로써 금속복합재료의 제조 공정에서 석출물의 생성량을 용이하게 제어할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 금속복합재료를 설명하기 위한 전자주사현미경(SEM) 사진들을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 금속복합재료의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 3은 본 발명에 따른 평가 샘플 1 내지 3과 비교 샘플 1의 시효 처리 공정의 시간에 따른 라멜라 구조의 석출물의 면적비 변화를 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명에 따른 평가 샘플 1에 대해 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우와 360분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면들이다.

도 5는 본 발명에 따른 평가 샘플 1에 대해 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우와 360분인 경우의 공칭변형율에 따른 인장강도 변화 그래프를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 평가 샘플 2에 대해 시효 처리 공정의 시간이 120분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 평가 샘플 2에 대해 시효 처리 공정의 시간이 30분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명에 따른 평가 샘플 3에 대해 시효 처리 공정의 시간이 120분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명에 따른 평가 샘플 3에 대해 시효 처리 공정의 시간이 30분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 평가 샘플 1 내지 3과 비교 샘플 1에 대한 시효 처리 공정의 시간에 따른 경도 변화를 나타낸 그래프이다.

도 11은 본 발명의 평가 샘플 1에서 불연속 석출물, 연속 석출물 및 하프 석출물 각각에 대한 인발율별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 평가 샘플 1에서 인발율에 따른 인장강도 및 연신율 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명의 평가 샘플 1에서 불연속 석출물 및 연속 석출물 각각에 대한 인발 공정 조건별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 14는 본 발명의 평가 샘플 1에 대한 인발율별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프와 진변형율에 따른 인장강도 및 연신율 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 15는 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 액체질소 분위기의 그루빙 공정의 수행에 따른 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 16, 도 17, 도 18 및 도 19는 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 인발율 50%, 80%, 90% 및 95%로 배향 공정을

수행한 경우의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.

도 20은 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 인발율 및 진변형을 변화에 따른 너비 및 간격의 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

도 21은 배향형 석출물의 너비 및 간격에 따른 인장강도 변화 그래프를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0031] 이하에서는, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 금속복합재료 및 이의 제조 방법에 대해서 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0032] **금속복합재료**
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 금속복합재료를 설명하기 위한 전자주사현미경(SEM) 사진들을 나타낸 도면이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 금속복합재료(100)는 전체 중량에 대해서 30 중량% 초과와 아연 및 70 중량% 미만의 알루미늄을 포함하고, 불연속 셀룰라 구조 또는 라멜라 구조를 형성하는 배향형 석출물들(120)을 포함하는데, 배향형 석출물들(120) 사이의 거리가 40 nm 이하이다. 배향형 석출물들(120) 사이는 알루미늄(110)이 충전된 구조를 갖는다.
- [0035] 배향형 석출물(120)은 아연으로 형성된 배향형 아연 석출물이고, 배향형 석출물(120)은 알루미늄(110)과 함께 불연속 셀룰라 구조 또는 라멜라 구조를 형성하게 된다. 배향형 석출물들(120)은 일 방향으로 연장되고, 배향된 섬유상을 가질 수 있고, 섬유상의 길이는 0.4 μm 내지 15 μm 일 수 있다.
- [0036] 금속복합재료(100)에서 아연의 함량이 전체 중량에 대해서 30 중량% 이하인 경우에는 배향형 석출물들(120)을 형성할 수 없기 때문에, 적어도 30 중량% 초과, 바람직하게는 40 중량% 이상의 아연을 포함한다. 예를 들어, 금속복합재료(100)는 40 내지 50 중량%의 아연을 포함할 수 있다.
- [0037] 금속복합재료(100)의 배향형 석출물(120)은 알루미늄-아연(Al-Zn) 합금을 이용하여 단위 면적당 40% 이상으로 강제로 생성된 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 소성가공으로 배향시켜 형성된다. 단위 면적당 배향형 석출물(120)의 함량이 40% 미만인 경우에는, 불연속 석출물을 포함하는 합금과 실질적으로 동일한 특성, 즉, 인장강도와 연신율의 변화가 없다. 따라서, 금속복합재료(100)는 배향형 석출물(120)을 단위 면적당 40% 이상으로 포함하여야 한다.
- [0038] 소성가공 전에 생성되는 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물은 알루미늄-아연 합금을 용체화처리 또는 균질화처리를 실시하여 고용체를 생성한 후 시효처리하여 형성할 수 있다. 상기 고용체는, 시효 처리 전에, 급냉(water quenching)시킬 수 있다. 상기 시효 처리는 3시간 이상 수행될 수 있다. 금속복합재료(100)의 제조와 관련해서는 도 2를 참조하여 상세하게 후술하기로 한다.
- [0039] 소성가공에 의한 금속복합재료(100)의 단면적 감소율인 인발율(drawing ratio)은 적어도 50% 이상으로, 100% 미만일 수 있다. 바람직하게는, 금속복합재료(100)의 인발율은 80% 내지 95%일 수 있다. 인발율이 증가할수록 배향형 석출물(120) 그 자체의 두께와 배향형 석출물(120) 사이의 거리가 가까워 질 수 있고, 인발율이 적어도 50% 이상임에 따라 배향형 석출물(120) 사이의 거리가 250 nm 이하가 될 수 있다.
- [0040] 한편, 금속복합재료(100)는 석출촉진 금속을 더 포함할 수 있다. 금속복합재료(100)의 제조 공정 중에서 배향형

석출물(120)을 형성하기 위해서 강제로 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 형성하는데, 이때 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물의 생성을 촉진하기 위한 석출촉진 금속이 첨가된다. 이에 의해, 최종 생성물인 금속복합재료(100)에 석출촉진 금속이 알루미늄과 아연 외에 더 포함될 수 있으며, 석출촉진 금속의 예로서는, 티타늄(Ti) 또는 바나듐(V) 등을 들 수 있다. 석출촉진 금속으로서 티타늄을 이용하는 경우, 금속복합재료(100)의 전체 중량에 대해서 티타늄의 함량은 0.025 내지 0.24 중량%일 수 있다. 이와 달리, 석출촉진 금속으로서 바나듐을 이용하는 경우, 금속복합재료(100)의 전체 중량에 대해서 바나듐의 함량은 0.028 내지 0.086 중량%일 수 있다.

[0041] 이하에서는, 도 1에서 설명한 것과 같은 구조를 갖는 금속복합재료(100)의 제조 방법에 대해서 도 2를 참조하여 설명한다.

[0042] 금속복합재료의 제조 방법

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 금속복합재료의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0044] 도 2를 참조하면, 먼저, 금속복합재료를 제조하기 위한 금속 재료로서 알루미늄-아연 합금을 준비한다(단계 S210).

[0045] 알루미늄-아연 합금 전체 중량에 대해서, 아연은 30 중량% 초과이고 알루미늄은 70 중량% 이하로 포함된다. 아연의 함량이 30 중량% 이하인 경우, 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물이 형성되지 않고, 이와 같은 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물이 형성되지 않는 경우 도 1의 배향형 석출물(120) 자체를 형성할 수 없다. 따라서 아연의 함량은 적어도 30 중량% 초과이어야 한다. 이에 따라, 알루미늄-아연 합금에서, 알루미늄과 아연의 중량비는 70:30 초과 50:50 이하일 수 있다. 바람직하게는, 알루미늄과 아연의 중량비는 60:40 이상 50:50 이하일 수 있다.

[0046] 이때, 상기 금속 재료는 석출촉진 금속을 더 포함할 수 있다. 상기 석출촉진 금속은, 도 1에서 설명한 것과 실질적으로 동일하므로 중복되는 구체적인 설명은 생략한다.

[0047] 상기와 같이 금속 재료를 준비한 후, 이를 이용하여 고용체를 생성한다(단계 S220).

[0048] 상기 고용체를 생성하는 단계는 잔류 석출물을 제거하기 위한 공정으로서 수행되고, 상기 금속 재료를 준비하는 단계(단계 S210)에서 석출촉진 금속이 포함되는 경우 고용도를 낮출 수 있다.

[0049] 상기 고용체는 상기 알루미늄-아연 합금을 용체화 처리 또는 균질화 처리를 실시하여 형성할 수 있다. 상기 고용체의 생성으로 인해, 상기 알루미늄-아연 합금에는 상기 고용체가 포함된 상태가 된다.

[0050] 상기 고용체를 생성하는 단계의 온도 범위는 150 내지 450℃일 수 있다. 상기 온도 범위는 알루미늄-아연 합금의 액상이 생기지 않고, 고용체를 형성할 수 있는 최고고용한계 온도를 고려하여 정해질 수 있다. 알루미늄-아연 합금의 경우, 450℃ 초과 범위의 온도에서는 단상을 형성하지 않고 다상을 형성하기 때문에 불연속 석출물이 생성되지 않는다.

[0051] 이어서, 상기 고용체를 포함하는 알루미늄-아연 합금을 이용하여 강제로 석출물을 형성한다(단계 S230).

[0052] 이때, 상기 고용체를 포함하는 알루미늄-아연 합금을 시효 처리(aging treatment)하여, 강제로 단위면적당 40% 이상의 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하게 된다. 시효 처리는 120 내지 200℃의 온도 범위에서 상기 고용체를 형성하는 단계보다 낮은 온도에서 수행된다. 예를 들어, 시효 처리는 160℃에서 수행될 수 있다.

[0053] 일례로, 상기 금속 재료가 석출촉진 금속을 포함하는 경우에는, 상기 고용체를 생성한 후, 수냉(water quenching) 또는 공냉(air quenching)을 실시하고 적어도 2 시간 이상 시효 처리하여 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성할 수 있다. 바람직하게는, 6시간 이상 시효 처리할 수 있다.

[0054] 이와 달리, 상기 금속 재료가 석출촉진 금속을 포함하지 않고 알루미늄-아연 합금만을 포함하는 경우에는, 수냉 또는 공냉을 실시하고 적어도 5 시간 이상 시효 처리하여 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성할 수 있다.

[0055] 상기와 같이 시효처리 전의 수냉 또는 공냉은, 온도하강 속도를 매우 빠르게 하여 급냉 시킴으로써 추후에 배향형 석출물(120)을 형성할 수 있다. 온도하강 속도를 느리게 하여 서서히 냉각시키는 경우, 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하더라도 이 석출물들이 배향되지 않는다.

- [0056] 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성한 후, 상기 석출물을 포함하는 알루미늄-아연 합금을 소성 가공하여 배향형 석출물들(120)을 형성한다(단계 S240).
- [0057] 배향형 석출물들(120)을 형성하는 배향 단계는 강제로 형성된 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 인위적으로 배향시키는 공정으로서, 압연, 인발 및/또는 압출을 통해서 수행될 수 있다. 이때, 최종적으로 생성된 배향형 석출물들(120) 사이의 이격거리인 간격은 250 nm 이하이다.
- [0058] 단면적 감소율인 인발율(drawing ratio)은 적어도 50% 이상으로, 100% 미만일 수 있다. 바람직하게는, 금속복합재료(100)의 인발율은 80% 내지 95%일 수 있다. 인발율이 증가할수록 배향형 석출물(120) 그 자체의 두께와 배향형 석출물(120) 사이의 거리가 가까워질 수 있고, 적어도 50% 이상으로 인발시킴으로써 배향형 석출물들(120) 사이의 거리가 250 nm 이하로 조절될 수 있다. 배향형 석출물들(120) 사이의 거리가 250 nm 이하에서, 인장강도 특성이 향상될 수 있다.
- [0059] 이에 따라, 일 방향으로 연장된 형태의 배향형 석출물(120)이 형성되고, 이러한 배향형 석출물(120)을 포함하는 알루미늄-아연 합금인 금속복합재료(100)가 제조된다.
- [0060] 상기에서 설명한 바에 따르면, 금속복합재료(100)가 제조과정 중에 강제로 불연속 셀룰라 석출물 또는 라멜라 석출물을 형성하고 이를 이용하여 형성된 배향형 석출물(120)을 포함함으로써, 연속 석출물을 포함하는 구조에서 인장강도 및 경도가 높은 특성과 불연속 석출물을 포함하는 구조에서 연신율과 충격흡수율이 높은 특성을 모두 갖는, 물리적 특성이 우수한 금속 재료로서 제공될 수 있다.
- [0061] **실험예 및 특성 평가**
- [0062] 이하에서는, 본 발명의 구체적인 제조예 및 비교예, 이들의 특성 평가 결과를 통해서 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0063] **평가 샘플 1의 제조**
- [0064] 알루미늄과 아연의 중량비를 55:45로 한 알루미늄-아연 합금을 주조하였고, 알루미늄-아연 합금에 TiB을 석출 촉진 금속으로 혼합하였다. TiB의 함량은, 알루미늄-아연 합금 및 TiB의 전체 중량에 대해서 0.01 중량%를 이용하였다.
- [0065] 이어서, 압하율 20 내지 30% 마다 400℃에서 15분 동안 어닐링을 수행하여 스웨이징(swaging)을 수행하였으며, 1시간이 경과한 후 스웨이징된 결과물에 1시간동안 용체화 처리한 후 수냉(water quenching) 처리하였다.
- [0066] **평가 샘플 2 및 3과, 비교 샘플 1의 제조**
- [0067] 알루미늄과 아연의 중량비를 60:40으로 한 것을 제외하고는 평가 샘플 1의 제조와 실질적으로 동일한 방법으로 평가 샘플 2를 준비하였으며, 알루미늄과 아연의 중량비를 50:50으로 하여 평가 샘플 3을 준비하였다.
- [0068] 또한, 알루미늄과 아연의 중량비를 70:30으로 하여, 비교 샘플 1을 준비하였다.
- [0069] **석출물의 면적비 변화 분석**
- [0070] 상기의 평가 샘플 1, 2 및 3과, 평가 비교 샘플 1 각각에 대해서, 160℃에서 시효 처리로서 열처리하는 동안, 15분, 30분, 60분, 100분, 120분 및 360분이 경과한 시점에서의 라멜라 구조의 석출물의 면적비(fraction, 단위%)를 측정하였고, 그 결과를 도 3에 나타낸다.
- [0071] 도 3은 본 발명에 따른 평가 샘플 1 내지 3과 비교 샘플 1의 시효 처리 공정의 시간에 따른 라멜라 구조의 석출물의 면적비 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0072] 도 3에서, x축은 시효 처리 공정의 시간(aging time, 단위: 분)을 나타내고, y축은 라멜라 구조의 석출물의 면적비(단위: %)를 나타내며, ▲(Al-45Zn)은 평가 샘플 1에 관한 것이고, ●(Al-40Zn)은 평가 샘플 2에 관한 것이며, ▼(Al-50Zn)은 평가 샘플 3에 관한 것이고, ■(Al-30Zn)은 비교 샘플 1에 관한 것이다.
- [0073] 도 3을 참조하면, 평가 샘플 1 내지 3의 경우, 120분 정도 시효처리를 수행한 경우에 라멜라 구조의 불연속 석출물이 적어도 60% 이상 시편에 존재함을 확인할 수 있다. 반면, 비교 샘플 1의 경우에는, 시효처리를 수행하더라도 불연속 석출물이 전혀 생성되지 않은 것을 확인할 수 있다.
- [0074] 따라서 본 발명에 따른 합금금속재료를 제조하기 위해서는 적어도 30 중량% 초과인 아연이 알루미늄-아연 합금에 포함되어 있어야 함을 알 수 있다. 평가 샘플 1 및 3과 같이 아연이 45 중량% 및 50 중량% 포함된 경우에,

시효 시간이 120분이 경과한 경우 80% 이상의 불연속 석출물이 생성된 것을 확인할 수 있으므로, 아연이 합금 전체 중량에 대해서 45 중량% 이상인 알루미늄-아연 합금을 이용하는 것이 바람직할 수 있다. 이때, 시효 시간이 360분인 경우에는, 평가 샘플 1 및 3 각각에서 불연속 석출물이 실질적으로 90% 이상, 100% 정도 생성됨을 알 수 있다.

[0075] 시효 처리 공정의 시간 의존성 분석-1

[0076] 평가 샘플 1에 대해, 수냉 처리시킨 후, 160℃에서 15분 동안 시효 공정을 수행한 경우와 360분 동안 시효 공정을 수행한 경우의 석출물의 구조를 투과전자현미경(TEM)으로 촬영하였다. 그 결과를 도 4에 나타낸다.

[0077] 또한, 평가 샘플 1에 대해, 수냉 처리시킨 후, 160℃에서 15분 동안 시효 공정을 수행한 경우와 360분 동안 시효 공정을 수행한 경우의 공칭변형율에 따른 인장강도 변화를 측정하였고, 연신율, 경도 및 충격시험을 수행하였다. 그 결과를 도 5 및 표 1에 나타낸다. 경도는 Vicker의 경도 평가를 통해 수행하였으며, 충격시험은 Charpy verification sticker(NIST)를 이용하여 ASTM std E23 조건 하에서 상온에서 10.0 x 10.0 x 55(2mm V-notch) 샘플을 제작하여 수행하였다.

[0078] 도 4는 본 발명에 따른 평가 샘플 1에 대해 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우와 360분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면들이다.

[0079] 도 4의 (a)는 열처리 시간이 15분인 경우의 1 μm 스케일의 TEM 사진이고, (b)는 열처리 시간이 360분인 경우의 1 μm 스케일의 TEM 사진이다. 또한, (a-1) 및 (a-2)가 열처리 시간이 15분인 경우의 TEM 사진들이고, (b-1) 및 (b-2)가 열처리 시간이 360분인 경우의 TEM 사진들이고, (a-1) 및 (b-1)은 100 μm 스케일의 TEM 사진들이고 (a-2) 및 (b-2)는 50 μm 스케일의 사진들이다.

[0080] 도 4를 도 3과 함께 참조하면, (a)에서와 같이 열처리 시간이 15분인 경우에는 연속 석출물들이 존재하되, 연속 석출물들은 0.16 내지 0.78 μm 크기의 구 형상을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0081] 반면, (b)에서와 같이 열처리 시간이 360분인 경우에는, 불연속 석출물들이 존재하되, 0.47 내지 2.67 μm 길이의 섬유상을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0082] 또한, (a-1) 및 (a-2)에서와 같이 열처리 시간이 15분이어서 대부분이 연속 석출물들로 이루어진 경우, 주로 입 내파괴와 입계파괴계가 관찰된다. 반면, (b-1) 및 (b-2)에서와 같이 열처리 시간이 360분이어서 대부분이 불연속 석출물들로 이루어진 경우, 불연속 석출물에 의한 연성 파괴 거동이 관찰됨을 확인할 수 있다.

[0083] 도 5는 본 발명에 따른 평가 샘플 1에 대해 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우와 360분인 경우의 공칭변형율에 따른 인장강도 변화 그래프를 나타낸 도면이다.

[0084] 도 5에서, x축은 공칭변형율(engineer strain, 단위: %)을 나타내고, y축은 인장강도(tensile strength, 단위: MPa)를 나타내며, "CP"로 표시한 커브가 15분 동안 시효 처리한 경우이고, "DP"로 표시한 커브가 360분 동안 시효 처리한 경우이다.

[0085] 도 5를 참조하면, 시효 처리가 15분밖에 수행되지 않아 대부분이 연속 석출물로 이루어진 경우의 인장강도는 약 400 MPa를 나타내고, 시효 처리가 360분 동안 수행되어 대부분이 불연속 석출물로 이루어진 경우의 인장강도는 약 200 MPa에 불과한 것을 확인할 수 있다. 즉, 인장강도의 측면에서는, 연속 석출물로 이루어진 경우가 2배 이상 높은 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0086] 표 1은 평가 샘플 1에 대한 시효 처리 공정의 시간이 15분 및 360분인 경우의 경도 및 충격시험 평가 결과를 나타낸 표이다.

표 1

대상	시효 처리 온도 (단위: °C)	시효 처리 시간 (단위: 분)	경도 (단위: Hv)	충격시험 (단위: J)
평가샘플 1	160	15	142.02	2.65
평가샘플 1	160	360	73.74	14.5

[0088] 표 1을 참조하면, 평가 샘플 1에 대한 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우, 즉, 대부분이 연속 석출물로 이루어진 경우에는 경도가 142.02 Hv로서, 대부분이 불연속 석출물로 이루어진 경우의 73.74 Hv에 비해서 2배 정도

높은 값을 나타냄을 확인할 수 있다.

- [0089] 하지만, 충격시험 결과에서는 대부분이 불연속 석출물로 이루어진 경우, 대부분이 연속 석출물로 이루어진 경우에 비해서 5배 이상의 높은 값을 나타냄을 알 수 있으며, 연신을 평가에 있어서도 대부분이 불연속 석출물로 이루어진 경우가 대부분이 연속 석출물로 이루어진 경우에 비해서 2배 이상 더 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.
- [0090] 도 5 및 표 1에서 설명한 바에 따르면, 경도와 인장강도에 있어서는 대부분이 연속 석출물로 이루어진 경우가 2배 정도 더 좋은 물성을 나타내는 반면, 충격시험이나 연신율에 있어서는 대부분이 불연속 석출물로 이루어진 경우가 월등히 우수한 것을 확인할 수 있다.
- [0091] **시효 처리 공정의 시간 의존성 분석-2**
- [0092] 평가 샘플 2에 대해, 수냉 처리시킨 후, 160℃에서 15분 동안 시효 공정을 수행한 경우와 360분 동안 시효 공정을 수행한 경우의 석출물의 구조를 TEM으로 촬영하였다. 그 결과를 도 6 및 도 7에 나타낸다.
- [0093] 도 6은 본 발명에 따른 평가 샘플 2에 대해 시효 처리 공정의 시간이 120분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이고, 도 7은 본 발명에 따른 평가 샘플 2에 대해 시효 처리 공정의 시간이 30분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.
- [0094] 도 6 및 도 7을 도 3과 함께 참조하면, 열처리 시간이 120분인 경우에는 도 6에서와 같이 대부분, 도 3의 수치로 보면 전체 면적의 약 60% 정도가 섬유상을 갖는 불연속 석출물로 이루어짐을 확인할 수 있다.
- [0095] 반면, 도 7에서와 같이 열처리 시간이 30분인 경우에는, 불연속 석출물과 연속 석출물이 혼재되고, 도 3의 수치로 보면 전체 면적의 약 10% 정도만이 불연속 석출물이고 나머지는 연속 석출물로 이루어진 것을 알 수 있다.
- [0096] **시효 처리 공정의 시간 의존성 분석-3**
- [0097] 평가 샘플 3에 대해, 수냉 처리시킨 후, 160℃에서 15분 동안 시효 공정을 수행한 경우와 360분 동안 시효 공정을 수행한 경우의 석출물의 구조를 TEM으로 촬영하였다. 의 구조를 TEM으로 촬영하였다. 그 결과를 도 8 및 도 9에 나타낸다.
- [0098] 도 8은 본 발명에 따른 평가 샘플 3에 대해 시효 처리 공정의 시간이 120분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이고, 도 9는 본 발명에 따른 평가 샘플 3에 대해 시효 처리 공정의 시간이 30분인 경우의 석출물의 구조의 TEM 사진들을 나타낸 도면이다.
- [0099] 도 8 및 도 9를 도 3과 함께 참조하면, 열처리 시간이 120분인 경우에는 도 8에서와 같이 대부분, 도 3의 수치로 보면 전체 면적의 약 90% 정도가 섬유상을 갖는 불연속 석출물로 이루어짐을 확인할 수 있다.
- [0100] 반면, 도 9에서와 같이 열처리 시간이 30분인 경우에는, 불연속 석출물과 연속 석출물이 혼재되고, 도 3의 수치로 보면 전체 면적의 약 10% 정도만이 불연속 석출물이고 나머지는 연속 석출물로 이루어진 것을 알 수 있다.
- [0101] **시효 처리 공정의 시간 의존성 분석 결과**
- [0102] 도 4 내지 도 9에서 살펴본 바와 같이 시효 처리 공정의 시간 의존성 분석-1 내지 3에서 확인한 바에 따르면, 시효 처리 공정의 조건이 모두 동일한 경우, 시효 처리 공정의 수행 시간이 증가할수록 불연속 석출물의 면적비가 더욱 증가하는 것을 확인할 수 있다. 도 3에서와 같이, 360분이 경과한 시점에서는 각 평가 샘플에서 최대 불연속 석출물이 생성되지만, 적어도 120분 이상 시효 공정을 수행하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0103] **시효 처리 공정의 시간에 따른 경도 특성 평가**
- [0104] 평가 샘플 1 내지 3 및 비교 샘플 1 각각에 대해서, 160℃에서 시효 처리를 수행하되, 시효 처리 공정의 시간에 따른 경도 변화를 측정하였다. 그 결과를 도 10에 나타낸다.
- [0105] 도 10은 본 발명의 평가 샘플 1 내지 3과 비교 샘플 1에 대한 시효 처리 공정의 시간에 따른 경도 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0106] 도 10에서, x축은 시효 처리 공정의 시간(aging time, 단위: 분)을 나타내고, y축은 경도(hardness, 단위: Hv)를 나타내며, ▼(Al-45Zn)은 평가 샘플 1에 관한 것이고, ●(Al-40Zn)은 평가 샘플 2에 관한 것이며, ▲(Al-50Zn)은 평가 샘플 3에 관한 것이고, ■(Al-30Zn)은 비교 샘플 1에 관한 것이다. 도 10의 (a)는 시효 처리 공정의 시간 0분에서 400분 사이를 나타낸 그래프이고, (b)는 (a) 중에서 0분 내지 100분까지의 구간을 확대하여 도

시한 그래프이다.

- [0107] 도 10을 참조하면, 평가 샘플 1 및 3의 경우, 시효 처리 공정의 시작부터 50분까지 경도가 점차적으로 감소함을 알 수 있고, 그 이후에는 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 평가 샘플 2의 경우에는 (a)에서 보는 바와 같이 평가 샘플 1이나 3에 비해서는 경도의 감소가 상대적으로 작기는 하지만, 실질적으로는 경도가 낮아지는 것을 알 수 있다.
- [0108] 반면, 비교 샘플 1의 경우에는 시효 처리 공정의 시작부터 50분까지는 실질적인 변화없이 일정하게 유지하다가 50분 이후에 소폭 감소하는 것을 알 수 있고, 평가 샘플 1 내지 3와 비교해서는 실질적으로 경도의 변화가 없는 것으로도 볼 수 있다.
- [0109] 상기에서 살펴본 바에 따르면, 연속 석출물을 포함하는 비교 샘플 1이, 불연속 석출물을 포함하는 평가 샘플 1 내지 3 각각에 비해서, 물리적 특성 중에서 경도에 있어서는 우수한 것을 확인할 수 있다.
- [0110] **공칭변형율에 따른 응력 변화 특성 평가-1**
- [0111] 평가 샘플 1에 대해서, 시효 처리 공정의 온도를 160℃로 설정하여 시효 처리 공정의 시간을 15분, 60분 및 360분으로 수행한 경우, 공칭변형율(engineering strain)에 따른 응력(stress) 변화를 측정하였다. 또한, 시효 처리 공정 후에, 인발 공정을 수행한 후의 공칭변형율에 따른 응력 변화를 측정하였다. 인발 공정의 인발율을 50%, 80%, 90% 및 95%로 수행하였다. 그 결과를 도 11에 나타낸다.
- [0112] 도 11은 본 발명의 평가 샘플 1에서 불연속 석출물, 연속 석출물 및 하프 석출물 각각에 대한 인발율별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.
- [0113] 도 11에서, (a)는 인발 공정을 수행하기 전의 그래프이고, (b), (c), (d) 및 (e) 각각이 인발율을 50%, 80%, 90% 및 95%로 수행한 경우의 그래프이며, (a) 내지 (d) 각각에서, CP는 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우, DP는 시효 처리 공정의 시간이 360분인 경우를 나타내며, Half DP는 시효 공정의 시간이 60분인 경우를 나타낸다. 또한, 도 11의 (a) 내지 (e) 각각에서, x축은 공칭변형율(단위: %)를 나타내고, y축은 응력(단위: MPa)을 나타내며, 이하에서의 응력은 인장강도와 실질적으로 동일한 개념으로 사용한다.
- [0114] 도 11을 참조하면, 인발 공정이 수행되지 않은 경우에는 (a)에서와 같이 CP의 최대 인장강도는 약 400 MPa이고, DP는 약 200 MPa으로 나타나며, Half DP는 약 300 MPa으로 나타나는 것을 알 수 있다. DP의 인장강도가 가장 낮은 값을 갖지만, CP는 공칭변형율 10% 초과에서는 균열이 발생하고 Half DP도 20% 미만에서 균열이 발생하는 반면, DP는 공칭변형율이 20%까지도 견디는 것을 확인할 수 있다. 따라서 인발 공정이 수행되지 않은 경우에는 CP는 인장강도는 좋지만 연신율은 낮으며, DP는 낮은 인장강도를 갖는 반면 좋은 연신율을 갖는 것을 알 수 있다.
- [0115] 인발 공정이 인발율 50%로 수행된 경우에는 (b)에서와 같이 CP, DP 및 Half DP 각각의 최대 인장강도가 (a)에 비해서 약 2배 가량 증가한 것을 확인할 수 있고, DP의 경우 공칭변형율 40%까지도 인장강도를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 즉, 인발 공정이 수행된 경우, DP의 연신율이 거의 2배로 증가한 것을 알 수 있다. 반면, 인발 공정이 수행된 경우, CP는 공칭변형율 10% 미만에서도 이미 균열이 발생된 것을 알 수 있고, 이를 통해서 연신율 특성이 저하된 것을 알 수 있다.
- [0116] 또한, 인발 공정이 인발율 80% 및 90%로 수행된 경우에도 (c) 및 (d) 각각에서 나타나는 바와 같이 (a)와 비교하여 DP의 경우에는 최대 인장강도가 적어도 1.5배 이상 증가한 것을 알 수 있고, 공칭변형율이 20%까지 증가하더라도 인장강도를 나타내는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 인발 공정이 인발율 95%로 수행된 경우에는 (e)에서 나타나는 바와 같이 (a)와 비교하여 DP의 최대 인장강도가 CP의 최대 인장강도 수준까지 증가한 것을 확인할 수 있다.
- [0117] **인발율에 따른 인장강도 및 연신율의 변화**
- [0118] 도 11의 CP와 DP의 값들을 인발율에 따른 인장강도 및 연신율의 변화로 환산하여 도 12로 나타낸다.
- [0119] 도 12는 본 발명의 평가 샘플 1에서 인발율에 따른 인장강도 및 연신율 그래프들을 나타낸 도면으로서, (a)는 인장강도에 대한 그래프이고 x축은 인발율에 해당하는 단면적 감소율(reduction ration, 단위%)을 나타내고, y축은 인장강도(tensile strength, 단위: MPa)를 나타낸다. 또한, (b)는 연신율에 대한 그래프이고, x축은 단면적 감소율을 나타내며, y축은 연신율(단위: %)를 나타낸다.
- [0120] 도 12를 참조하면, DP의 경우 인발율이 증가함에 따라 인장강도가 증가하는 경향을 나타내고, 90% 이상의 인발율에서는 CP의 인장강도와 거의 유사한 값에 도달하는 것을 알 수 있다. 또한, 연신율에 있어서는 DP의 연신율

이 CP에 비해서 항상 우수한 것을 알 수 있다.

[0121] 도 11 및 도 12에서 살펴본 바에 따르면, 인발 공정의 수행에 따라서 DP의 인장강도가 증가하고 CP에 비해서 높은 연신율 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. DP의 경우, 인발율의 증가에 따라서 최대 인장강도값도 증가함을 알 수 있다. 특히, CP의 공칭변형율에 대한 인장강도가 인발율이 증가할수록 저하되는 반면, DP의 공칭변형율에 대한 인장강도는 약간의 변화는 있지만 실질적으로는 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 이에 따라, 본 발명에서와 같이 불연속 석출물을 형성하고, 이에 대해서 인발 공정을 수행함으로써 연신율과 인장강도가 모두 향상된 금속복합재료(100)를 제공할 수 있다.

[0122] 인발 공정 조건에 의한 특성 영향 평가-1

[0123] 평가 샘플 1에 대해서, 시효 처리 공정의 온도를 160℃로 설정하여 시효 처리 공정의 시간을 15분 및 360분으로 수행한 경우, 공칭변형율(engineering strain)에 따른 응력(stress) 변화를 측정하였다. 이때, 인발 공정에서 인발 속도를 2 mm/분 및 400 mm/분으로 조절하였다. 특히, 시효 공정 후에, 인발 공정을 수행한 후의 공칭변형율에 따른 응력변화를 측정하였다. 인발 공정의 인발율을 50%, 80%, 90% 및 95%로 수행하였다. 그 결과를 도 13에 나타낸다.

[0124] 도 13은 본 발명의 평가 샘플 1에서 불연속 석출물 및 연속 석출물 각각에 대한 인발 공정 조건별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

[0125] 도 13에서, CP는 시효 처리 공정의 시간이 15분인 경우이고, DP는 360분인 경우를 나타내며, (a)는 인발 공정 수행 전, (b) 내지 (e) 각각은 인발율이 50%, 80%, 90% 및 95%인 경우를 나타낸다.

[0126] 도 13을 참조하면, (b) 내지 (e) 각각에서와 같이 동일한 조건에서는 인발 속도가 400 mm/분인 경우가, 2 mm/분인 경우에 비해서 상대적으로 조금 더 높은 최대 인장강도 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

[0127] 인발 공정 조건에 의한 특성 영향 평가-2

[0128] 평가 샘플 1에 대해서, 160℃에서 15분 및 360분 동안 시효 처리를 수행한 후, 인발율을 50%, 80%, 90% 및 95%로 하여 인발 공정을 수행하였다. 이때, 인발 공정의 온도를 상온(25)에서 수행하여 공칭변형율에 따른 응력 변화를 측정하였으며, 절대온도 76K에서의 공칭변형율에 따른 응력 변화를 측정하였다. 또한, 진변형율(true strain)에 따른 인장강도 및 연신율을 측정하였다. 그 결과를 도 14에 나타낸다.

[0129] 도 14는 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 인발율별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프와 진변형율에 따른 인장강도 및 연신율 그래프들을 나타낸 도면이다.

[0130] 도 14에서, (a)가 인발율별 공칭변형율에 따른 응력 변화 그래프이고, (b)는 진변형율에 따른 인장강도 변화 그래프이며, (c)는 진변형율에 따른 연신율 변화 그래프이며, (a) 내지 (c)는 160℃에서 360분 동안 시효 처리를 수행한 후에 인발한 결과에 대한 것이다. 15분 동안 시효 처리한 경우에는 절대온도 76K에서는 인발 자체가 수행되지 않았다.

[0131] 도 14를 참조하면, (a)에서 나타나는 바와 같이 76K의 낮은 온도에서 인발한 경우에 최대 인장강도가 상온에서 수행한 것에 비해 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라, (b)에서 나타나는 바와 같은 낮은 온도에서 인발한 경우의 인장강도가 상온에서 수행한 것에 비해 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 또한, 진변형율이 증가할수록 인장강도는 76K의 온도에서 인발 공정을 수행한 경우와 상온에서 수행한 경우 모두 증가하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

[0132] 반면, 연신율에 있어서는, 상온에서 인발 공정을 수행한 경우가 76K의 낮은 온도에서 인발한 경우에 비해 상대적으로 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 진변형율이 증가할수록 연신율은 76K의 온도에서 인발 공정을 수행한 경우와 상온에서 수행한 경우 모두 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

[0133] 그루빙 공정의 조건에 따른 특성 평가

[0134] 평가 샘플 1에 대해서, 160℃에서 15분 및 360분 동안 시효 처리 공정을 수행하고 인발율 90% 및 95%로 인발 공정을 수행하고, 공칭변형율의 변화에 따른 응력 변화를 측정하였다. 추가적으로, 평가 샘플 1에 대해서 160℃에서 360분동안 시효 처리 공정을 수행하되 인발 공정을 액체 질소 분위기에서 수행하고, 공칭변형율의 변화에 따른 응력 변화를 측정하였다. 그 결과를 도 15에 나타낸다.

[0135] 도 15는 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 액체질소 분위기의 그루빙 공정의 수행에 따른 공칭변형율에 따른 응력

변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

[0136] 도 15에서, (a)는 인발율이 90%인 경우를 나타내고, (b)는 인발율이 95%인 경우를 나타내며, (a) 및 (b) 각각에서, DP는 시효 처리 시간이 360분인 경우, CP는 시효 처리 시간이 15분인 경우를 나타내며, DP grooving in N₂는 시효 처리 시간이 360분이되 인발 공정을 액체 질소 분위기에서 수행된 경우를 나타낸다.

[0137] 도 15를 참조하면, (a) 및 (b) 모두에서 DP의 최대 인장강도는 약 350 내지 360 MPa이고 CP의 최대 인장강도는 약 380 내지 410 MPa를 나타내는 것을 알 수 있다. 이와 비교하여, 인발 공정을 액체 질소 분위기에서 수행한 경우, 최대 인장강도가 (a)에서는 488 MPa로 나타나고 (b)에서는 509 MPa로 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 액체 질소 분위기에서 인발 공정을 수행함으로써 일 방향으로 정렬된 불연속 석출물의 수와 길이가 증가하여 일반 DP에 비해서 초기 인장강도가 140 내지 150 MPa까지 증가함을 확인할 수 있다.

[0138] 그래프로 도시하지는 않았으나, CP의 경우에는 액체 질소 분위기에서 인발율 40%로 인발 공정을 수행한 경우, 균열이 발생하여 그 이상의 인발율에서는 인발공정을 수행할 수 없음을 확인하였다.

[0139] 따라서 상기에서 설명한 바에 따르면, 인발 공정 수행 시에 액체 질소 분위기에서 수행함으로써 인장강도를 최대화시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

[0140] 구조 분석-1

[0141] 평가 샘플 1에 대해서 인발율 50%, 80%, 90% 및 95%로 인발 공정을 수행하였고, 각각의 결과물을 TEM으로 촬영하였다. 그 결과를 도 16 내지 도 19에 나타낸다.

[0142] 도 16, 도 17, 도 18 및 도 19는 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 인발율 50%, 80%, 90% 및 95%로 배향 공정을 수행한 경우의 TEM 사진들을 나타낸 도면들이다.

[0143] 도 16 내지 도 19 각각을 참조하면, 인발 공정을 수행함에 따라 도 1에서 설명한 배향형 석출물(120)을 포함하는 금속복합재료(100)가 생성됨을 확인할 수 있다. 특히, 도 16 내지 도 19 각각에서, 불연속 석출물에서 부분적으로 끊어진 부분을 확인할 수 있는데, 이는 인발 공정시에 발생한 열로 불연속 석출물의 일부가 끊어져 형성된 것으로 유추해볼 수 있다.

[0144] 구조 분석-2

[0145] 도 16 내지 도 19 각각에 나타난 본 발명의 실시예들에 따른 금속복합재료 각각에 대해서 인발율 변화에 따른 배향형 석출물의 너비 및 간격 변화를 측정하였다. 그 결과를 도 20에 나타낸다.

[0146] 도 20은 본 발명의 평가 샘플 1에 대해 인발율 및 진변형율 변화에 따른 너비 및 간격의 변화 그래프들을 나타낸 도면이다.

[0147] 도 20에서, (a)는 인발율에 따른 배향형 석출물의 너비(width) 변화를 나타낸 그래프이고, (b)는 진변형율에 따른 배향형 석출물의 너비(width) 변화를 나타낸 그래프이며, (c) 및 (d) 각각은 배향형 석출물들 사이의 간격을 인발율 및 진변형율에 따라 나타낸 그래프들이다.

[0148] 도 20을 참조하면, 인발율, 즉, 단면적 감소율이 증가할수록 배향형 석출물의 너비와 간격이 감소함을 알 수 있다.

[0149] 구조 분석-3

[0150] 또한, 도 16 내지 도 19 각각에 나타난 본 발명의 실시예들에 따른 금속복합재료 각각에 대해서 배향형 석출물의 너비 및 간격에 따른 인장강도 변화를 측정하였다. 그 결과를 도 21에 나타낸다.

[0151] 도 21은 배향형 석출물의 너비 및 간격에 따른 인장강도 변화 그래프를 나타낸 도면이다.

[0152] 도 21에서, (a)는 배향형 석출물의 너비와 인장강도 사이의 관계를 나타내는 그래프이고, (b)는 배향형 석출물의 간격과 인장강도 사이의 관계를 나타내는 그래프이다.

[0153] 도 21을 참조하면, 배향형 석출물의 너비가 좁을수록 인장강도는 증가하고, 간격이 좁을수록 인장강도가 증가함을 확인할 수 있다. 즉, 인발율을 크게하여 배향형 석출물의 너비와 간격이 좁을수록 인장강도 특성이 향상됨을 확인할 수 있다.

[0154] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정

및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0155]

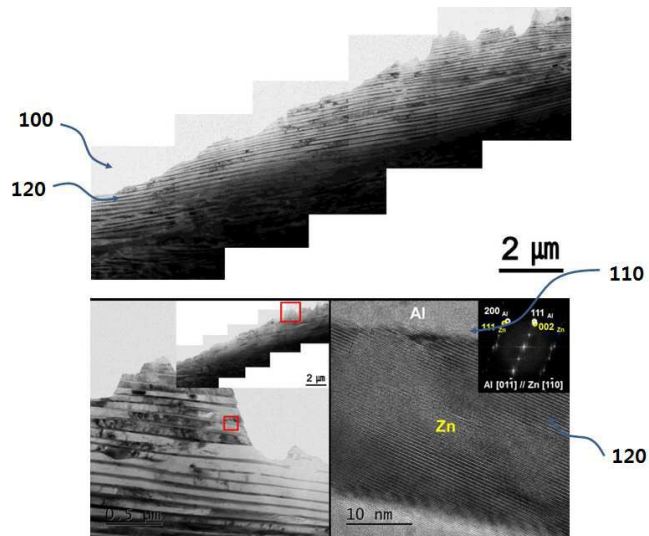
100: 금속복합재료

110: 알루미늄

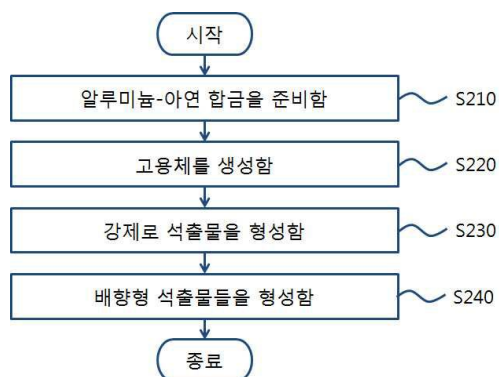
120: 배향형 석출물

도면

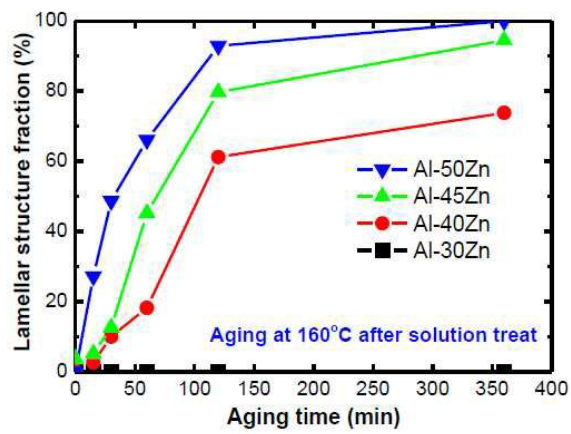
도면1



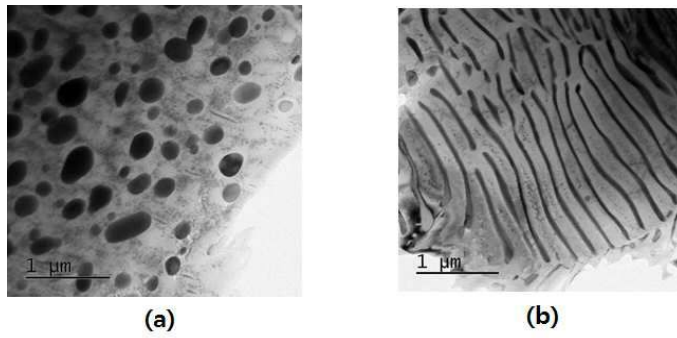
도면2



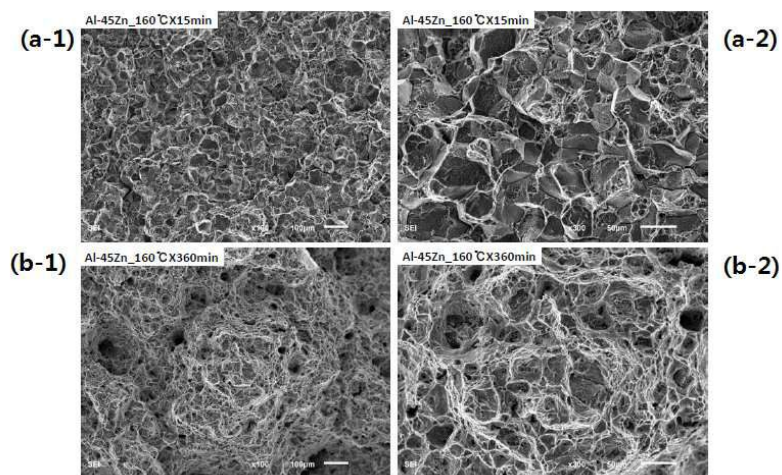
도면3



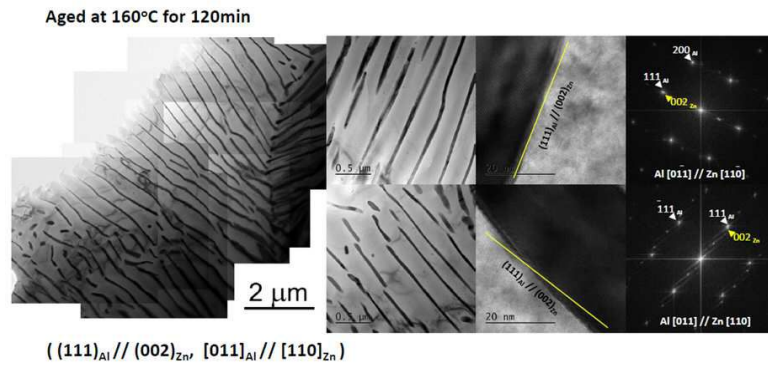
도면4



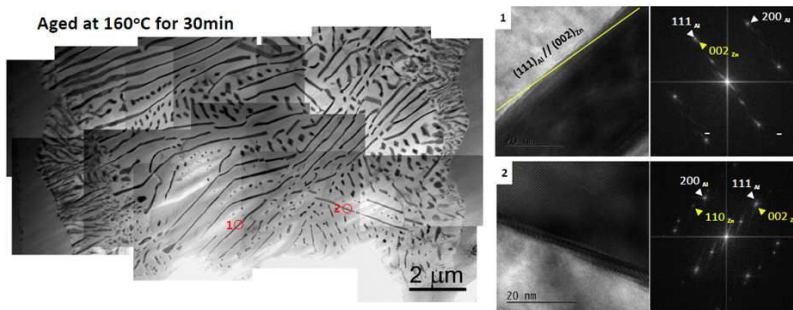
도면5



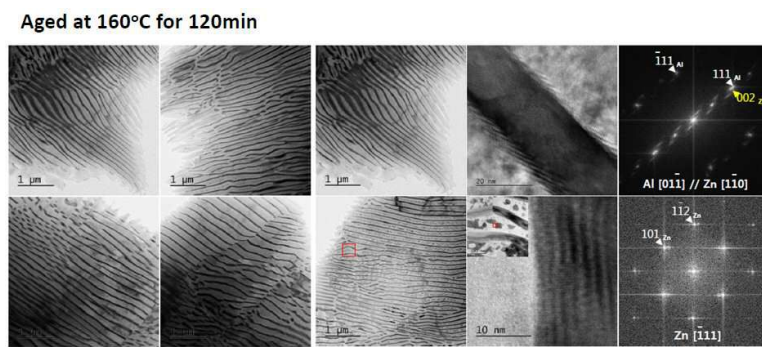
도면6



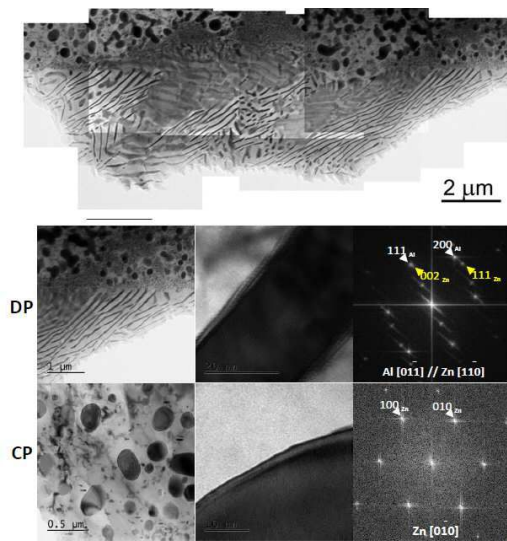
도면7



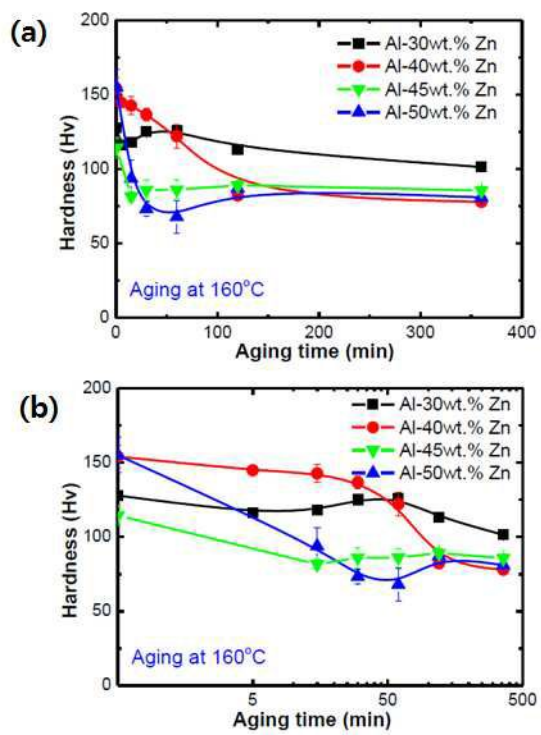
도면8



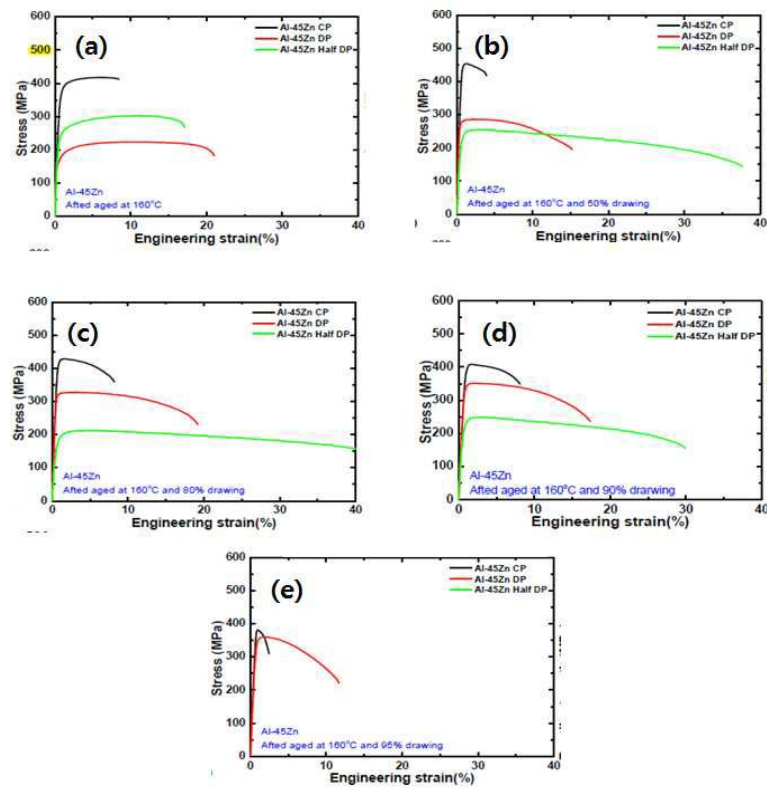
도면9



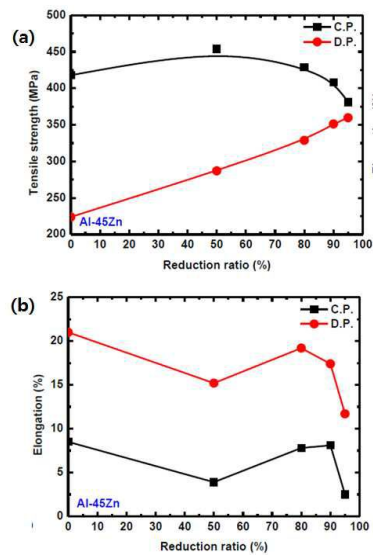
도면10



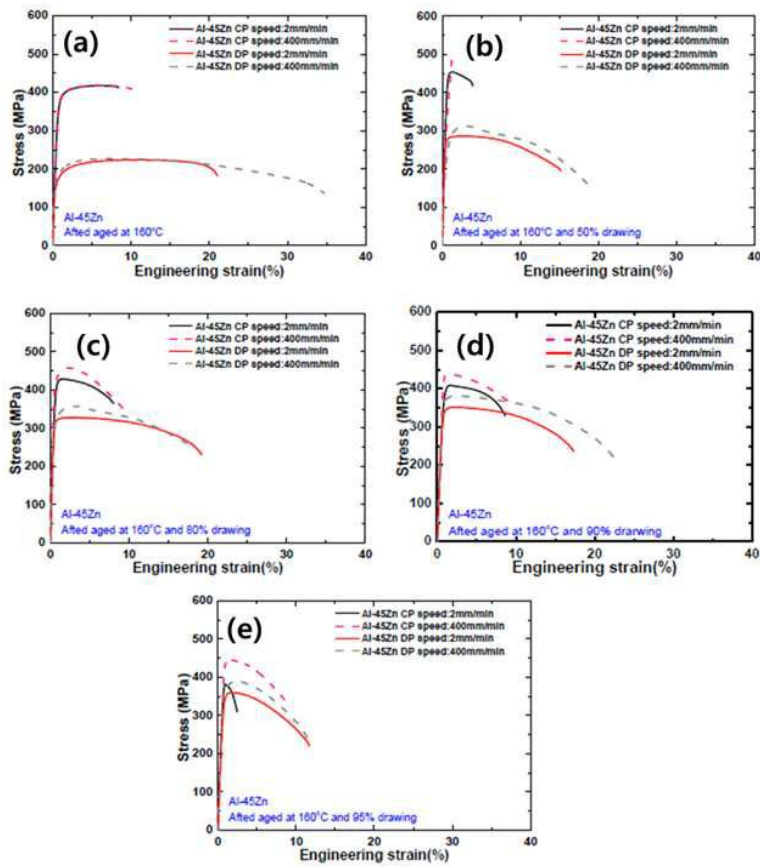
도면11



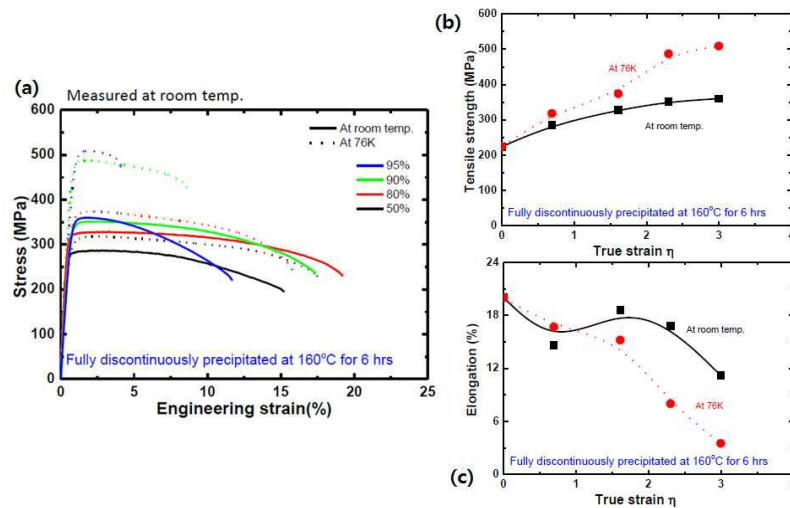
도면12



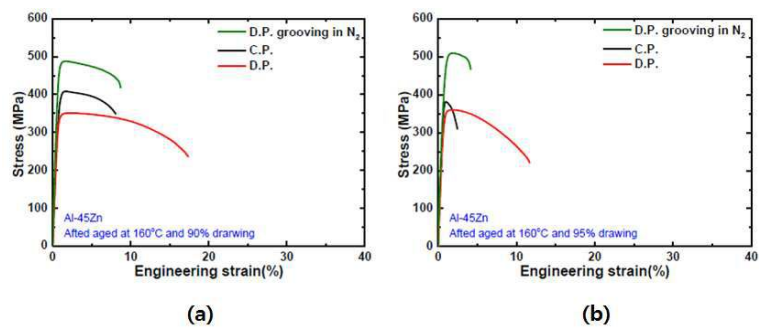
도면13



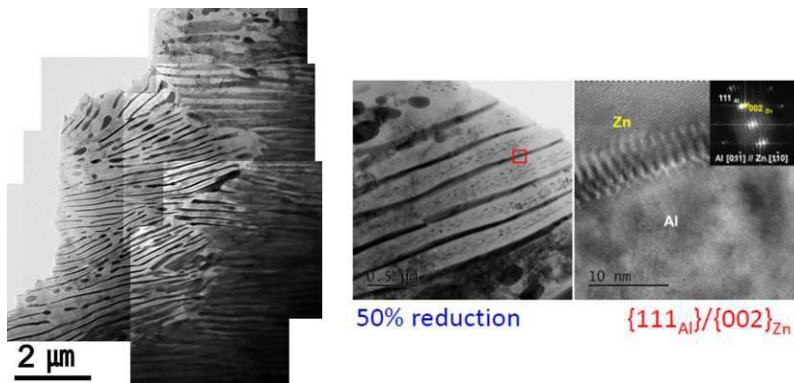
도면14



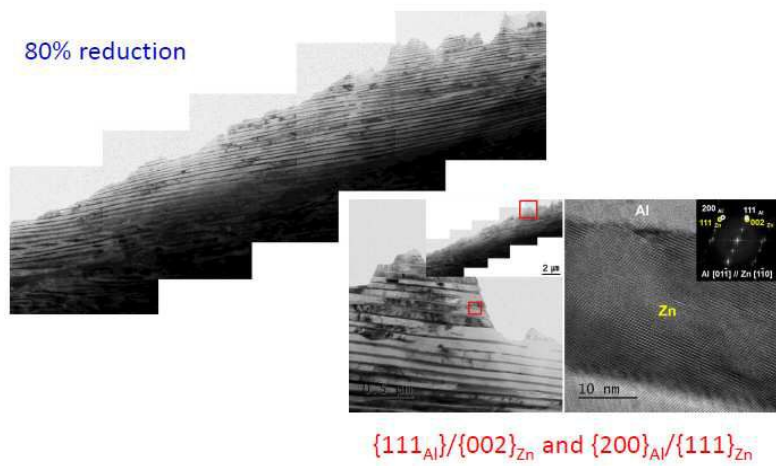
도면15



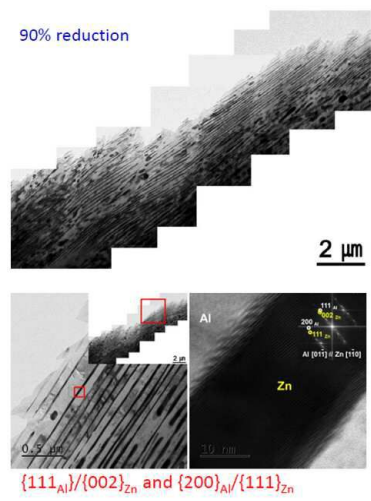
도면16



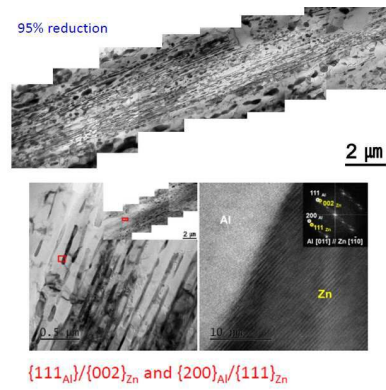
도면17



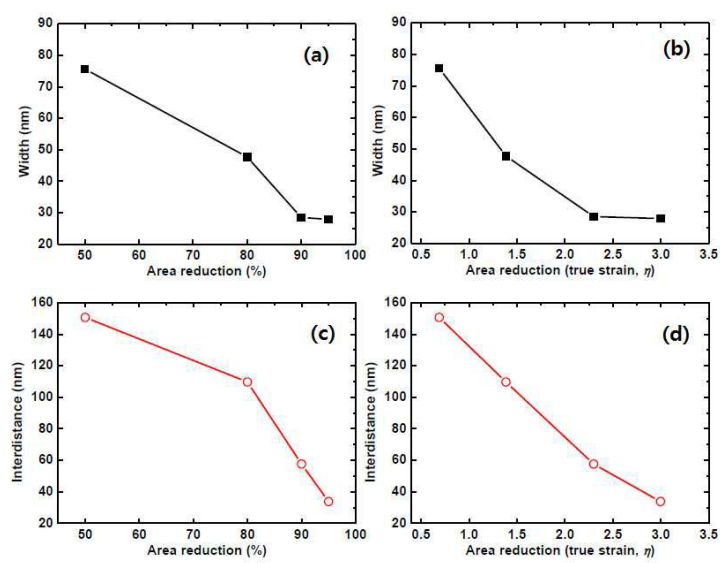
도면18



도면19



도면20



도면21

