



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0034346
(43) 공개일자 2022년03월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 21/00 (2006.01) *C22C 1/02* (2006.01)
H01M 50/10 (2021.01) *H01M 50/20* (2021.01)

(52) CPC특허분류

C22C 21/00 (2021.01)
C22C 1/026 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0116593

(22) 출원일자 2020년09월11일

심사청구일자 2020년09월11일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

배동현

서울특별시 강남구 삼성로51길 37 래미안대치팰리스(1단지) 111동 902호

(74) 대리인

김권석

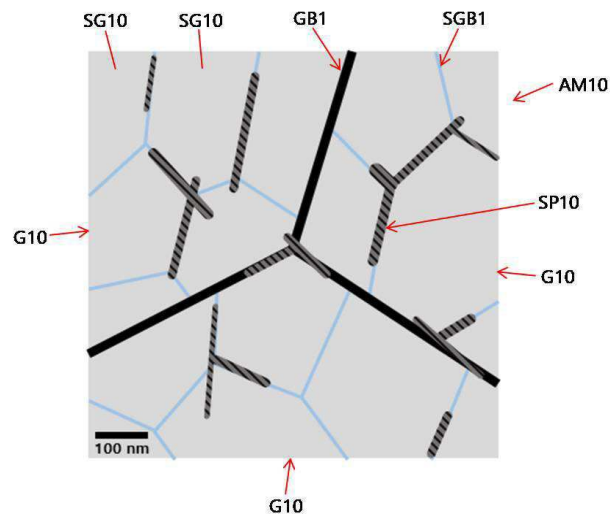
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이를 적용한 장치

(57) 요약

알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이를 적용한 장치에 관해 개시되어 있다. 개시된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재는 복수의 그레인 및 상기 그레인 각각에 복수의 서브-그레인을 갖는 알루미늄계 기지 및 상기 복수의 서브-그레인 사이의 서브-그레인 바운더리에 존재하는 것으로 알루미늄과 비금속 원소의 고용체를 포함하는 밴드 구조의 자기조직화 상(self-organized phase)을 포함할 수 있다. 상기 서브-그레인과 이와 접한 상기 자기조직화 상은 실질적인 정합 계면(coherent interface)을 형성할 수 있다. 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 제공될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01M 50/116 (2021.01)

H01M 50/20 (2021.01)

H01M 2220/20 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

알루미늄계 기지를 포함한 복합재로서,

복수의 그레인 및 상기 그레인 각각에 복수의 서브-그레인을 갖는 알루미늄계 기지; 및

상기 복수의 서브-그레인 사이의 서브-그레인 바운더리에 존재하는 것으로, 알루미늄과 비금속 원소의 고용체를 포함하는 밴드 구조의 자기조직화 상(self-organized phase)을 포함하고,

상기 서브-그레인과 이와 접한 상기 자기조직화 상은 실질적인 정합 계면(coherent interface)을 형성하는, 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 제공된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상은 상기 서브-그레인의 격자 상수보다 큰 격자 상수를 갖는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상의 격자 상수는 0.405 nm 보다 크거나 같고 0.42 nm 보다 작거나 같은 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상의 일측에 제 1 서브-그레인이 제공되고, 상기 자기조직화 상의 타측에 제 2 서브-그레인이 제공되며,

상기 제 2 서브-그레인의 결정 배향 방향은 상기 제 1 서브-그레인의 결정 배향 방향에 대해서 10° 이내의 각도로 틸팅(tilting)된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상은 5~80 nm의 밴드 폭을 갖는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 비금속 원소는 산소(O), 탄소(C) 및 질소(N) 중 적어도 하나를 포함하는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상에서 상기 비금속 원소의 함유량은 0.01~10 at% 인 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 자기조직화 상은 상기 고용체로 구성되고, 상기 알루미늄과 상기 비금속 원소에 의한 화합물은 미함유하는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄계 기지는 알루미늄 합금인 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄계 기지는 알루미늄에 고용 가능한 첨가 원소를 더 포함하고,

상기 첨가 원소는 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn), 텅스텐(W), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be) 중 적어도 하나를 포함하는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄계 지지 내에 복수의 상기 자기조직화 상이 분산되어 형성된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재.

청구항 13

청구항 1 내지 12 중 어느 한 항에 기재된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 적용한 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 장치는 전기차 배터리 케이스를 포함하는 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 금속을 기반한 복합재에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이를 적용한 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 알루미늄 또는 이의 합금은 알루미늄의 가볍고 내구성이 큰 특성을 이용해 다양한 형상으로 제작이 가능하여, 산업적인 응용 범위가 매우 넓은 재료이다. 알루미늄 그 자체는 강도가 낮아 쉽게 변형되지만, 알루미늄 합금은 첨가 원소에 의해 강도가 향상되어 자동차 또는 항공기 산업 분야에 적용 가능한 정도로 고강도 및 고신뢰성을 갖는다. 최근 알루미늄 합금은 우수한 기계적 강도와 낮은 비중으로, 자동차 및 항공기 분야는 물론 건축, 화학, 로봇 및 전자 제품과 같은 다양한 분야로 응용이 확대되고 있다.

[0003] 그러나, 알루미늄 및 알루미늄 합금은 연신율이 낮기 때문에 가공성이 좋지 않은 문제가 있다. 알루미늄계 매트릭스에 합금 원소를 첨가하더라도, 연신율은 개선되지 않거나 오히려 감소할 수 있다. 또한, 알루미늄계 매트릭스에 첨가되는 원소들의 종류가 많아질수록 강도와 같은 특성의 향상을 어느 정도 기대할 수 있지만, 강도 향상의 효과가 제한적이고 충분하지 않을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 고연신 특성을 가지면서 아울러 강도와 같은 기계적 물성이 우수한 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 제공하는데 있다.
- [0005] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 우수한 기계적 물성을 가지면서도 향상된 열전도 특성을 갖는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 제공하는데 있다.
- [0006] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 상기한 알루미늄계 기지를 포함한 복합재의 제조 방법을 제공하는데 있다.
- [0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 알루미늄계 기지를 포함한 복합재로서, 복수의 그레인 및 상기 그레인 각각에 복수의 서브-그레인을 갖는 알루미늄계 기지; 및 상기 복수의 서브-그레인 사이의 서브-그레인 바운더리에 존재하는 것으로, 알루미늄과 비금속 원소의 고용체를 포함하는 밴드 구조의 자기조직화 상(self-organized phase)을 포함하고, 상기 서브-그레인과 이와 접한 상기 자기조직화 상은 실질적인 정합 계면(coherent interface)을 형성하는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재가 제공된다.
- [0009] 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 포함될 수 있다.
- [0010] 상기 자기조직화 상은 상기 서브-그레인의 격자 상수보다 큰 격자 상수를 가질 수 있다.
- [0011] 상기 자기조직화 상의 격자 상수는 0.405 nm 보다 크거나 같고 0.42 nm 보다 작거나 같을 수 있다.
- [0012] 상기 자기조직화 상의 일측에 제 1 서브-그레인이 제공될 수 있고, 상기 자기조직화 상의 타측에 제 2 서브-그레인이 제공될 수 있으며, 상기 제 2 서브-그레인의 결정 배향 방향은 상기 제 1 서브-그레인의 결정 배향 방향에 대해서 10° 이내의 각도로 틸팅(tilting)될 수 있다.
- [0013] 상기 자기조직화 상은 약 5~80 nm 정도의 밴드 폭을 가질 수 있다.
- [0014] 상기 비금속 원소는 산소(O), 탄소(C) 및 질소(N) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 자기조직화 상에서 상기 비금속 원소의 함유량은 약 0.01~10 at% 정도일 수 있다.
- [0016] 상기 자기조직화 상은 상기 고용체로 구성될 수 있고, 상기 알루미늄과 상기 비금속 원소에 의한 화합물은 미함유할 수 있다.
- [0017] 상기 알루미늄계 기지는 알루미늄 합금일 수 있다.
- [0018] 상기 알루미늄계 기지는 알루미늄에 고용 가능한 첨가 원소를 더 포함할 수 있고, 상기 첨가 원소는 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn), 텅스텐(W), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 알루미늄계 기지 내에 복수의 상기 자기조직화 상이 분산되어 제공될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 전술한 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 적용한 장치가 제공된다.
- [0021] 상기 장치는, 예컨대, 전기차 배터리 케이스를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명의 실시예들에 따르면, 알루미늄계 기지 내에 밴드 구조의 자기조직화 상(self-organized phase)을 포함함으로써, 고연신 성능, 즉, 높은 연신율을 가지면서 아울러 강도와 같은 기계적 물성이 우수한 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 구현할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 우수한 기계적 물성을 가지면서도 향상된 열전도 특성을 갖는 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 구현할 수 있다. 실시예들에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재는 고연신, 고강도 및우수한 열전도 특성을 가질 수 있어, 다양한 분야에 유용하게 적용될

수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 설명하기 위한 예시적인 개념도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 보여주는 투과 전자 현미경(transmission electron microscope)(TEM) 이미지이다.

도 4는 도 2의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

도 5는 도 3의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

도 6은 도 2의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

도 7은 도 6의 투과 전자 현미경(TEM) 이미지에서 서브-그레인과 자기조직화 상의 계면부를 (111) 면에서의 I-FFT(inverse fast Fourier transform)로 분석한 분석 이미지이다.

도 8은 도 6에 해당하는 실시예에 따른 복합재를 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지로서, 자기조직화 상 양측의 서브-그레인들(#1, #3)의 결정 배향 방향의 차이를 분석한 결과를 보여주는 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 중성자 산란 분석 결과이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 복합재를 인장 변형한 경우의 그 미세 구조를 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 제조하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이와 비교되는 대조군 물질의 전기전도도-열전도도 특성을 측정한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이와 비교되는 대조군 물질의 경도(hardness)-열전도도 특성을 측정한 결과를 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024]

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0025]

이하에서 설명할 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 명확하게 설명하기 위하여 제공되는 것이고, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있다.

[0026]

본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용되는 단수 형태의 용어는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"이라는 용어는 언급한 형상, 단계, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 단계, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다. 또한, 본 명세서에서 사용된 "연결"이라는 용어는 어떤 부재들이 직접적으로 연결된 것을 의미할 뿐만 아니라, 부재들 사이에 다른 부재가 더 개재되어 간접적으로 연결된 것까지 포함하는 개념이다.

[0027]

아울러, 본원 명세서에서 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다. 본 명세서에서 사용된 용

어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다. 또한, 본원 명세서에서 사용되는 "약", "실질적으로" 등의 정도의 용어는 고유한 제조 및 물질 허용 오차를 감안하여, 그 수치나 정도의 범주 또는 이에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 제공된 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.

- [0028] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 첨부된 도면에 도시된 영역이나 파트들의 사이즈나 두께는 명세서의 명확성 및 설명의 편의성을 위해 다소 과장되어 있을 수 있다. 상세한 설명 전체에 걸쳐 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.
- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 설명하기 위한 예시적인 개념도이다.
- [0030] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재(이하, 복합재)는 복수의 그레인(G10) 및 각각의 그레인(G10)에 복수의 서브-그레인(SG10)을 갖는 알루미늄계 기지(AM10)를 포함할 수 있다. 복수의 그레인(G10) 사이에 그레인 바운더리(GB1)가 제공될 수 있고, 복수의 서브-그레인(SG10) 사이에 서브-그레인 바운더리(SGB1)가 제공될 수 있다. 그레인(G10) 각각의 크기(폭)는, 예컨대, 약 30~40 μm 정도일 수 있고, 서브-그레인(SG10) 각각의 크기(폭)는, 예컨대, 약 400~500 nm 정도일 수 있다. 그러나, 그레인(G10) 및 서브-그레인(SG10)의 크기 범위는 예시적인 것이고, 달라질 수 있다.
- [0031] 상기 복합재는 서브-그레인 바운더리(SGB1)에 배치된 자기조직화 상(self-organized phase)(SP10)을 제공할 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 알루미늄과 비금속 원소로 구성된 고용체(solid solution)를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 비금속 원소는 산소(O), 탄소(C) 및 질소(N) 중 적어도 하나를 포함할 수 있으며, 복합재 내의 비금속 원소는 자기조직화 상(SP10)에 집중 편재될 수 있다. 상기 고용체, 즉, 상기 알루미늄과 비금속 원소의 고용체는 자기조직화 상(SP10) 이외의 영역에는 존재하지 않을 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 그 외의 알루미늄계 기지(AM10) 영역과는 물질적으로 다른 구성을 갖기 때문에, 알루미늄계 기지(AM10) 내에 자기조직화 상(SP10)이 제공된 형태의 물질(즉, 상기 복합재)은 일종의 '복합 물질'이라고 할 수 있다.
- [0032] 자기조직화 상(SP10)은 밴드(band) 구조를 가질 수 있다. 자기조직화 상(SP10)의 밴드 구조는 일종의 로드(rod) 구조이거나 그와 유사한 구조일 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 복수의 밴드 구조(또는 로드 구조)가 연결된 형태를 가질 수도 있다. 서브-그레인 바운더리(SGB1)에 존재하는 자기조직화 상(SP10)은 그 자체가 '서브-그레인 바운더리'의 역할을 할 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 일반적인 서브-그레인 바운더리 보다 상당히 큰 폭을 갖는 서브-그레인 바운더리, 즉, 광폭의 서브-그레인 바운더리라고 할 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은, 예컨대, 약 5~80 nm 정도의 밴드 폭(평균 밴드 폭) 또는 약 20~65 nm 정도의 밴드 폭(평균 밴드 폭)을 가질 수 있다.
- [0033] 알루미늄계 기지(AM10) 내에 복수의 자기조직화 상(SP10)이 분산되어 제공될 수 있다. 복수의 자기조직화 상(SP10)이 비교적 균일하게 분산되어 배치될 수 있다. 자기조직화 상(SP10)의 적어도 일부는 그레인 바운더리(GB1)에도 위치할 수 있다. 일 실시예에서, 그레인 바운더리(GB1)의 일부 영역에 자기조직화 상(SP10)이 존재할 수 있다. 그러나, 자기조직화 상(SP10)은 그레인 바운더리(GB1) 보다 서브-그레인 바운더리(SGB1)에 주로 존재할 수 있다.
- [0034] 서브-그레인(SG10)과 이와 접한 자기조직화 상(SP10)은 실질적인 정합 계면(coherent interface)을 형성할 수 있다. 상기 정합 계면에 대해서는 추후에 도 7 등을 참조하여 보다 상세히 설명한다. 상기 정합 계면을 따라서 소정 밀도의 복수의 전위(dislocation)(미도시)가 제공될 수 있다. 상기 전위(dislocation)에 대해서도 추후에 도 7 등을 참조하여 보다 상세히 설명한다.
- [0035] 자기조직화 상(SP10)은 이에 접한 서브-그레인(SG10)의 격자 상수보다 큰 격자 상수를 가질 수 있다. 서브-그레인(SG10)은 결정질 구조를 가질 수 있고, 자기조직화 상(SP10)도 결정질 구조를 가질 수 있는데, 자기조직화 상(SP10)의 격자 상수는 이에 대응하는 서브-그레인(SG10)의 격자 상수 보다 클 수 있다. 예를 들어, 자기조직화 상(SP10)은 알루미늄(알루미늄 원소)으로 구성된 결정 구조 내에 상기 비금속 원소가 침입형으로 삽입된(고용된) 고용체 구조를 가질 수 있기 때문에, 상기 비금속 원소에 의해 제 1 방향에 대하여 서브-그레인(SG10) 보다 큰 격자 상수를 가질 수 있다. 구체적인 예로, 자기조직화 상(SP10)의 격자 상수는 0.405 nm 보다 크거나 같고 0.42 nm 보다 작거나 같을 수 있다. 서브-그레인(SG10)은 상기 비금속 원소를 포함하지 아니하고, 알루미늄이나 알루미늄 합금으로 구성될 수 있다. 따라서, 자기조직화 상(SP10)은 상기 제 1 방향에 대하여 서브-그레인(SG10)의 격자 상수보다 큰 격자 상수를 가질 수 있다. 이에 대해서는 추후에 도 6을 참조하여 보다 상세히 설명한다.

- [0036] 자기조직화 상(SP10)은 서브-그레인(SG10) 보다 큰 격자 상수를 가질 수 있지만, 격자 상수의 차이는 매우 작은 수준일 수 있다. 따라서, 자기조직화 상(SP10)과 서브-그레인(SG10)은 접합부에서 격자가 실질적으로(대체적으로) 일치하는 정합 계면(coherent interface)을 형성할 수 있다. 그리고, 앞서 언급한 바와 같이, 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 제공될 수 있다.
- [0037] 자기조직화 상(SP10)의 일측에 제 1 서브-그레인이 형성되고, 타측에 제 2 서브-그레인이 형성된 경우, 즉, 상기 제 1 서브-그레인과 상기 제 2 서브-그레인 사이에 자기조직화 상(SP10)이 제공된 경우, 상기 제 2 서브-그레인의 결정 배향 방향은 상기 제 1 서브-그레인의 결정 배향 방향에 대해서 약 10° 이내 또는 약 6° 이내의 각도로 틸팅(tilting)될 수 있다. 즉, 상기 제 1 서브-그레인과 상기 제 2 서브-그레인 사이의 방향이탈 각도(misorientation angle)는 약 10° 이내 또는 약 6° 이내일 수 있다. 상기 방향이탈 각도(misorientation angle)는, 예를 들어, 약 $1\sim 10^\circ$ 또는 약 $2\sim 6^\circ$ 정도일 수 있다. 따라서, 상기 제 1 서브-그레인과 상기 제 2 서브-그레인은 동일한 결정 구조를 가지면서 결정 배향 방향만 미소하게 다를 수 있다. 이에 대해서는 추후에도 8을 참조하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0038] 자기조직화 상(SP10)에서 상기 비금속 원소의 함유량은 약 0.01~10 at% 정도일 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 상기한 고용체, 즉, 상기 알루미늄과 비금속 원소의 고용체로 구성될 수 있다. 자기조직화 상(SP10)은 상기 알루미늄과 상기 비금속 원소와 알루미늄 기재와의 화합물인, 예를 들면, 알루미늄 산화물, 알루미늄 탄화물 또는 알루미늄 질화물은 함유하지 않으며, 이러한 화합물들이 형성되지 않도록 상기 비금속 원소의 함유량은 복합재 내에서 제한되어야 한다. 자기조직화 상(SP10)은 상기 화합물은 함유하지 않으면서 상기 고용체로 구성(형성)될 수 있다. 대체로 자기조직화 상(SP10)에서 상기 비금속 원소의 함유량이 약 0.01~10 at% 정도일 때, 상기 화합물이 형성되지 않고, 고용체인 자기조직화 상(SP10)이 형성되기에 유리하다.
- [0039] 알루미늄계 기지(AM10)는 실질적으로 알루미늄으로 구성되거나 또는 알루미늄 합금으로 구성될 수 있다. 여기서, 알루미늄계 기지(AM10)는 상기 복합재에서 자기조직화 상(SP10)을 제외한 영역을 의미할 수 있다. 알루미늄계 기지(AM10)는 알루미늄에 고용 가능한 첨가 원소를 더 포함할 수 있다. 상기 첨가 원소는 천이 금속 원소이거나, 비천이 금속 원소이거나, 또는, 비금속 원소일 수도 있다. 구체적인 예로, 상기 첨가 원소는 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn), 텅스텐(W), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 여기서, 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn) 및 텅스텐(W)은 상기 천이 금속 원소에 해당되고, 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be)은 상기 비천이 금속 원소에 해당되며, 실리콘(Si)은 상기 비금속 원소에 해당된다. 바람직한 예로, 상기 첨가 원소는 실리콘(Si), 마그네슘(Mg) 및 아연(Zn) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 첨가 원소는 일종의 합금 원소이거나, 합금 원소가 아닌 일종의 도핑 원소일 수도 있다. 상기 복합재에서 상기 첨가 원소는 통상의 알루미늄 합금에 포함되는 양 정도로 혹은 그 이하로 포함될 수 있다. 전술한 첨가 원소의 구체적인 종류는 예시적인 것이고, 경우에 따라, 그 밖에 다른 첨가 원소가 적용될 수도 있다.
- [0040] 본 발명의 실시예에 따른 상기 복합재는 주조재(cast material)이거나, 주조재로부터 가공되어 제조된 가공재(가공물)일 수 있다. 상기 복합재가 주조재인 경우, 상기 주조재를 소정의 가공 공정(예컨대, 압연 가공 공정 또는 열 가공 공정)으로 가공하더라도, 도 1을 참조하여 설명한 바와 같은 상기 복합재의 구성(미세 구조)은 실질적으로 변화되지 않고 유지될 수 있다. 따라서, 상기 주조재로부터 가공되어 제조된 가공재(가공물)도 도 1을 참조하여 설명한 바와 같은 구성을 가질 수 있다.
- [0041] 본 발명의 실시예에 따른 복합재 내에는 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상(SP10)이 분산되어 있고, 자기조직화 상(SP10)은 이와 접한 서브-그레인(SG10)과 실질적인 정합 계면을 형성할 수 있다. 또한, 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 형성될 수 있다. 이와 관련해서, 상기 복합재의 변형(deformation) 시 자기조직화 상(SP10)은 전위의 공급 소스의 역할을 할 수 있고, 그 결과, 복합재의 연신율이 크게 향상될 수 있다. 또한, 상기 복합재의 변형 시, 자기조직화 상(SP10)은 기지 내에서 전위의 이동(활주)을 방해/억제하는 역할을 할 수 있고, 복합재의 강도 등 기계적 물성이 향상될 수 있다.
- [0042] 도 2 및 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 보여주는 투과 전자 현미경(transmission electron microscope)(TEM) 이미지이다.
- [0043] 도 2는 알루미늄 용탕에 ZnO 나노분말을 1.0 wt% 만큼 첨가한 후, 상기 용탕을 고화시켜 주조한 복합재에 해당한다. 이때, 상기 알루미늄 용탕 내에서 ZnO 나노분말이 복수의 띠(즉, 밴드)를 이루도록 분산될 수 있고, 띠

(즉, 밴드) 구조의 ZnO 나노분말 응집체로부터 Zn은 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용되고, 비금속 원소인 산소(O)는 상기 응집체로부터 빠져나오지 않고 본래의 락 구조(본래의 락 구조 내 위치)를 유지할 수 있다. 알루미늄 용탕의 알루미늄 원소가 상기 락 구조에서 Zn이 빠져나온 자리로 침투하여 들어갈 수 있고, 상기 락 구조 내에서 산소(O)와 고용체를 형성할 수 있다. 이러한 방식으로 알루미늄과 비금속 원소인 산소(O)의 고용체가 형성될 수 있다. 상기 고용체는 자기조직화 방식으로 형성된다고 할 수 있다. 상기 고용체는 도 1을 참조하여 설명한 자기조직화 상(SP10)에 해당될 수 있다. 한편, 상기 락 구조의 ZnO 나노분말 응집체로부터 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용된 Zn은 그 양이 매우 소량이고 알루미늄 용탕 내에 균일하게 분산될 수 있기 때문에, 알루미늄계 기지의 결정 구조에는 거의 영향을 주지 않을 수 있다.

[0044] 도 3을 참조하면, 알루미늄 용탕에 SiC 나노분말을 1.0 wt% 만큼 첨가한 후, 상기 용탕을 고화시켜 주조한 복합재에 해당한다. 이때, 상기 알루미늄 용탕 내에서 SiC 나노분말이 복수의 락(즉, 밴드)를 이루도록 분산될 수 있고, 락(즉, 밴드) 구조의 SiC 나노분말 응집체로부터 Si는 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용되고, 비금속 원소인 탄소(C)는 상기 응집체로부터 빠져나오지 않고 본래의 락 구조(본래의 락 구조 내 위치)를 유지할 수 있다. 알루미늄 용탕의 알루미늄 원소가 상기 락 구조에서 Si가 빠져나온 자리로 침투하여 들어갈 수 있고, 상기 락 구조 내에서 탄소(C)와 고용체를 형성할 수 있다. 이러한 방식으로 알루미늄과 비금속 원소인 탄소(C)의 고용체가 형성될 수 있다. 상기 고용체는 도 1의 자기조직화 상(SP10)에 해당될 수 있다. 한편, 상기 락 구조의 SiC 나노분말 응집체로부터 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용된 Si는 그 양이 매우 소량이고 알루미늄 용탕 내에 균일하게 분산될 수 있기 때문에, 알루미늄계 기지의 결정 구조에는 거의 영향을 주지 않을 수 있다.

[0045] 도 2 및 도 3을 참조하면, 약 700 nm 크기(폭)의 서브-그레인(즉, 아결정립)들이 형성된 것을 확인할 수 있다. 이러한 서브-그레인들 사이에 도 1을 참조하여 설명한 자기조직화 상이 제공된다.

[0046] 도 4는 도 2의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

[0047] 도 4를 참조하면, 서브-그레인들 사이에 Al-O cluster로 표시된 자기조직화 상(self-organized phase)이 형성된 것을 확인할 수 있다. 자기조직화 상은 일종의 밴드 구조를 가질 수 있다. 자기조직화 상은 약 5~80 nm 정도의 밴드 폭(평균 밴드 폭)을 가질 수 있고, 수 μm (약 1~10 μm) 정도의 길이를 가질 수 있다.

[0048] 도 5는 도 3의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

[0049] 도 5를 참조하면, Al-C 고용체로 구성된 밴드 구조의 자기조직화 상이 서브-그레인과 계면(즉, 정합 계면)을 이루도록 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0050] 도 6은 도 2의 복합재의 일부 영역을 확대하여 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다. 도 6에는 서브-그레인 영역(#1)과 이와 접한 자기조직화 상 영역(#2)에 대한 SAED(selected area electron diffraction) 패턴 분석 결과가 포함되어 있다.

[0051] 도 6을 참조하면, 서브-그레인 영역(#1)은 실질적으로 알루미늄으로 구성될 수 있고, 자기조직화 상 영역(#2)은 Al-O 고용체로 구성될 수 있다. 이때, 자기조직화 상의 밴드 폭은 약 37 nm 정도였다. 상기 자기조직화 상에서 산소(O)의 농도는 약 1.5 at% 정도였다. 서브-그레인 영역(#1)과 자기조직화 상 영역(#2)에 대한 SAED 패턴을 분석한 결과, 자기조직화 상 영역(#2)에서 격자 내부로 고용된 산소(O) 원자에 의해 알루미늄 결정의 격자 상수가 서브-그레인 영역(#1)의 0.403 nm 에서 0.414 nm로 약 3% 정도 증가한 것을 확인하였다. 여기서, 상기 격자 상수는 (001) 면에 수직한 방향(즉, c축 방향)으로의 격자 상수를 의미할 수 있다. 자기조직화 상은 알루미늄계 기지와 같은 면심 입방 구조를 가질 수 있고, 격자 상수에 있어서 알루미늄계 기지와 미소한 차이를 가질 수 있다.

[0052] 도 7은 도 6의 투과 전자 현미경(TEM) 이미지에서 서브-그레인(기지)과 자기조직화 상(밴드)의 계면부를 (111) 면에서의 I-FFT(inverse fast Fourier transform)로 분석한 분석 이미지이다.

[0053] 도 7을 참조하면, 서브-그레인(기지)과 자기조직화 상(밴드)은 결정 격자가 실질적으로 일치하는 정합 계면(coherent interface)을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 서브-그레인(기지) 영역에서 흰색선으로 표시된 (111) 면들과 자기조직화 상(밴드) 영역에서 흰색선으로 표시된 (111) 면들이 실질적으로(대체적으로) 상호 일치되도록 배열되어 있음을 확인할 수 있다.

[0054] 그리고 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 형성됨을 확인할 수 있다. 상기 정합 계면에서 서브-그레인과 자기조직화 상의 결정 격자가 실질적으로 일치하지만, 간격을 두고 전위(dislocation)

가 하나씩 나타나는 것을 확인할 수 있다. 자기조직화 상의 격자 상수가 서브-그레인의 격자 상수와 미소한 차이(예컨대, 약 3% 정도의 차이)를 갖기 때문에, 자기조직화 상과 서브-그레인은 대체로 정합 계면을 이루면서도, 격자 상수의 차이를 보상하기 위한 전위를 포함하는 것으로 판단된다.

[0055] 도 7의 내부에 흰색 화살표로 표시한 거리는 인접한 두 개의 전위 사이의 거리를 나타낸다. 상기 거리는 (111) 면에 수직인 방향으로의 직선 거리이다. 평균적으로 약 40개 원자 간격으로 전위가 존재하는 것을 확인하였다. 전위들 사이의 평균 내부 거리(즉, average inter-distance between misfit dislocations)는 약 9.13 nm 였다.

[0056] 본 발명의 실시예에 따른 복합재 내에는 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상이 형성되어 있고, 상기 자기조직화 상은 이와 접한 서브-그레인과 실질적인 정합 계면을 형성할 수 있다. 또한, 상기 정합 계면을 따라서 상호 이격된 복수의 전위(dislocation)가 형성될 수 있다. 이와 관련해서, 상기 복합재의 변형(deformation) 시 상기 자기조직화 상은 전위의 공급 소스의 역할을 할 수 있고, 그 결과, 복합재의 연신율이 크게 향상될 수 있다. 또한, 상기 복합재의 변형 시, 상기 자기조직화 상은 기지 내에서 전위의 이동(활주)을 방해/억제하는 역할을 할 수 있고, 복합재의 강도 등 기계적 물성이 향상될 수 있다.

[0057] 도 8은 도 6에 해당하는 실시예에 따른 복합재를 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지로서, 자기조직화 상(밴드) 양측의 서브-그레인들(#1, #3)의 결정 배향 방향의 차이를 분석한 결과를 보여주는 도면이다.

[0058] 도 8을 참조하면, 자기조직화 상(밴드) 일측의 제 1 서브 그레인 영역에 해당하는 #1 영역에 대한 결정 격자 분석 결과와 자기조직화 상(밴드) 타측의 제 2 서브 그레인 영역에 해당하는 #3 영역에 대한 결정 격자 분석 결과를 비교하면, 상기 제 2 서브-그레인의 결정 배향 방향은 상기 제 1 서브-그레인의 결정 배향 방향에 대해 약 4.4° 만큼 틸팅(tilting)된 것을 확인할 수 있다. 다시 말해, 상기 제 1 서브-그레인과 상기 제 2 서브-그레인 사이의 방향이탈 각도(misorientation angle)는 약 4.4° 정도였다. 이는 자기조직화 상(밴드)을 중심으로 두 영역의 알루미늄 기지(#1, #3)의 면각도가 약 4.4° 만큼 미소한 차이를 갖는 것을 의미한다. 이때, 상기 자기조직화 상(밴드)의 폭은 약 37 nm 였다.

[0059] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 중성자 산란 분석 결과(원자짜 분포 함수 결과)이다. 도 9의 복합재는 알루미늄 용탕에 ZnO 나노분말을 2.0 wt% 만큼 첨가한 후, 상기 용탕을 고화시켜 주조한 복합재에 해당한다. 도 2를 참조하여 설명한 바와 유사하게, 자기조직화 방식에 의해 알루미늄과 비금속 원소인 산소(O)의 고용체가 형성될 수 있고, 상기 고용체는 도 1의 자기조직화 상(SP10)에 해당될 수 있다. 도 9에서 Al-O로 표시한 그래프가 상기 실시예에 따른 복합재에 해당된다. 도 9에는 상기 실시예와 비교하기 위한 것으로, 알루미늄(Al)에 대한 측정 결과 및 시뮬레이션 결과가 포함되어 있다. 도 9는

[0060] 도 9를 참조하면, 실시예에 따른 복합재에 대한 측정 결과에 있어서, 녹색으로 표시된 영역에서 알루미늄 원자와 침입형으로 고용된 비금속 원자(즉, 산소)의 결합 길이에 상응하는 결합이 존재함을 확인할 수 있었다. 이는 실시예에 따른 복합재에서 알루미늄과 비금속 원자(즉, 산소) 사이의 고용체(자기조직화 상)가 형성되었음을 의미한다.

[0061] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 복합재를 인장 변형한 경우의 그 미세 구조를 보여주는 투과 전자 현미경(TEM) 이미지이다.

[0062] 도 10을 참조하면, 실시예에 따른 복합재의 변형(5% 인장 변형) 시에, 밴드 구조의 자기조직화 상은 전위(dislocation)와 소정의 상호 작용을 일으킬 수 있다. 밴드 구조로 이루어진 자기조직화 상(즉, band cell)은 복합재의 변형시 전위(dislocation)의 활주(이동)를 방해/억제하는 역할을 할 수 있다. 또한, 밴드 구조로 이루어진 자기조직화 상(즉, band cell)은 이미 존재하고 있는 전위(dislocation)의 소스(source)와 싱크(sink)의 역할을 할 수 있다. 이러한 자기조직화 상의 역할에 의해 복합재의 연신율이 상당히 증가할 수 있고, 또한 강도 특성이 향상될 수 있다.

[0063] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재를 제조하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0064] 도 11을 참조하면, 본 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재의 제조 방법은 알루미늄 또는 알루미늄 합금의 용탕을 마련하는 단계(S10), 용탕 내에 비금속 원소의 전구체인 나노분말을 첨가하는 단계(S20), 용탕 내에서 나노분말이 복수의 띠(즉, 밴드) 구조를 이루도록 분산시키는 단계(S30) 및 용탕을 고화시켜 주조하는 단계(S40)를 포함할 수 있다.

[0065] S10 단계에서 용탕의 가열 온도는, 예컨대, 650~850℃ 정도일 수 있지만, 이에 한정되지 않고 변화될 수 있다.

S10 단계에서 알루미늄 합금을 사용하는 경우, 상기 알루미늄 합금은 알루미늄에 고용 가능한 첨가 원소를 포함할 수 있다. 상기 첨가 원소는 전이 금속 원소이거나, 비전이 금속 원소이거나, 또는, 비금속 원소일 수도 있다. 구체적인 예로, 상기 첨가 원소는 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn), 텅스텐(W), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 여기서, 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn) 및 텅스텐(W)은 상기 전이 금속 원소에 해당되고, 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr) 및 베릴륨(Be)은 상기 비전이 금속 원소에 해당되며, 실리콘(Si)은 상기 비금속 원소에 해당된다. 바람직한 예로, 상기 첨가 원소는 실리콘(Si), 마그네슘(Mg) 및 아연(Zn) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 전술한 첨가 원소의 구체적인 종류는 예시적인 것이고, 경우에 따라, 그 밖에 다른 첨가 원소가 적용될 수도 있다.

[0066] S20 단계에서 상기 용탕 내에 비금속 원소의 전구체인 나노분말을 첨가할 수 있다. 상기 비금속 원소는 산소(O), 탄소(C) 및 질소(N) 중 적어도 하나일 수 있다. 상기 나노분말은 상기 비금속 원소를 포함하는 화합물의 분말일 수 있다. 상기 나노분말은 세라믹 나노분말일 수 있다. 구체적인 예로, 상기 나노분말은 아연 산화물(ZnO), 타이타늄 산화물(TiO₂), 구리 산화물(CuO₂), 철 산화물(Fe₂O₃), 구리 질화물(CuN), 철 질화물(FeN), 아연 질화물(ZnN), 타이타늄 질화물(TiN) 및 마그네슘 질화물(MgN) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또는, 상기 나노분말은 알루미늄 산화물(Al₂O₃), 알루미늄 질화물(AlN), 마그네슘 산화물(MgO₂), 실리콘 산화물(SiO₂), 실리콘 탄화물(SiC), 실리콘 질화물(Si₃N₄), 텅스텐 산화물(WO) 및 텅스텐 질화물(WN) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 그러나 이러한 상기 나노분말의 구체적인 물질 종류는 예시적인 것이고, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 상기 나노분말의 평균 입경은 약 5~100 nm 정도일 수 있다. 상기 나노분말은 상기 용탕 전체 중량 대비 약 0.01 wt% 내지 5.0 wt% 정도의 양으로, 바람직하게는, 약 0.1 wt% 내지 4.0 wt% 정도의 양으로 혼합될 수 있다.

[0067] S30 단계에서 상기 용탕 내에서 상기 나노분말이 복수의 띠(즉, 밴드) 구조를 이루도록 분산시킬 수 있다. 상기 나노분말이 용탕 내에 균일하게 분산되지 아니하고, 복수의 띠(즉, 밴드) 구조의 응집체(분말 응집체)가 분산되도록 제어할 수 있다. 이를 위해, S20 단계에서 적절한 응집력을 갖는 나노분말을 선택할 수 있고, S30 단계에서는 교반 조건, 온도 조건 등을 적절히 제어할 수 있다. 이때, 상기 용탕 내에서 상기 나노분말이 복수의 띠(즉, 밴드)를 이루도록 분산될 수 있고, 띠(즉, 밴드) 구조의 나노분말 응집체로부터 Zn, Si 등의 원소는 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용되고, 상기 비금속 원소(ex, 산소, 탄소, 질소)는 상기 응집체로부터 빠져나오지 않고 본래의 띠 구조(본래의 띠 구조 내 위치)를 대체로 유지할 수 있다. 상기 용탕의 알루미늄 원소가 상기 띠 구조에서 Zn, Si 등이 빠져나온 자리로 침투하여 들어갈 수 있고, 상기 띠 구조 내에서 상기 비금속 원소(ex, 산소, 탄소, 질소)와 고용체를 형성할 수 있다. 이러한 방식으로 알루미늄과 비금속 원소(ex, 산소, 탄소, 질소)의 고용체가 형성될 수 있다. 상기 고용체는 자기조직화 방식으로 형성된다고 할 수 있다. 상기 고용체는 도 1을 참조하여 설명한 자기조직화 상(SP10)에 해당될 수 있다. 한편, 상기 띠 구조의 나노분말 응집체로부터 알루미늄 용탕으로 빠져나와 알루미늄에 고용된 Zn, Si 등은 그 양이 매우 소량이고 알루미늄 용탕 내에 균일하게 분산될 수 있기 때문에, 알루미늄계 기지의 결정 구조에는 거의 영향을 주지 않을 수 있다.

[0068] S40 단계에서 상기 용탕을 고화시켜 주조할 수 있다. 상기 용탕의 고화는 용탕을 냉각시킴으로서 달성될 수 있다. 필요한 경우, 후속 열처리 또는 어닐링 공정을 더 수행할 수 있다. 이렇게 제조된 주조재(cast material)는 도 1 등을 참조하여 설명한 실시예에 따른 복합재에 대응될 수 있다. 또한, 상기 주조재를 소정의 가공 공정(예컨대, 압연 가공 공정 또는 열 가공 공정)으로 가공하더라도, 도 1을 참조하여 설명한 바와 같은 상기 복합재의 구성(미세 구조)은 실질적으로 변화되지 않고 유지될 수 있다. 따라서, 상기 주조재로부터 가공되어 제조된 가공재(가공물)도 도 1을 참조하여 설명한 바와 같은 복합재의 구성을 가질 수 있다.

[0069] 도 12는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다. 도 12에는 Al 용탕에 1.0 wt% ZnO 나노분말을 첨가하여 제조된 복합재와, Al 용탕에 1.0 wt% SiC 나노분말을 첨가하여 제조된 복합재와, Al 용탕에 0.1 wt% Si₃N₄ 나노분말을 첨가하여 제조된 복합재에 대한 결과가 포함되어 있다. 이들은 모두 본 발명의 실시예에 따른 복합재에 해당한다. 또한, 도 12에는 비교를 위한 대조군으로 나노분말을 첨가하지 않은 알루미늄 주조재(즉, Al_Ref)에 대한 결과도 포함되어 있다.

[0070] 도 12를 참조하면, 실시예들에 따라 제조된 복합재가 대조군인 알루미늄 주조재(즉, Al_Ref) 보다 상당히 높은 연신율 및 우수한 강도 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시예들에 따라 제조된 복합재 내에 형성된 밴

드 구조를 갖는 자기조직화 상에 의한 효과라고 할 수 있다.

- [0071] 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다. 도 13에는 실시예로서 Al-Si-Mg 합금의 용탕에 1.0 wt% ZnO 나노분말을 첨가하여 제조된 복합재에 대한 결과가 포함되어 있다. 여기서, Al-Si-Mg 합금은 Al 매트릭스에 7 wt%의 Si 및 0.3 wt%의 Mg가 함유된 합금일 수 있다. 이는 A356 합금에 해당할 수 있다. 이러한 Al-Si-Mg 합금의 용탕에 1.0 wt% ZnO 나노분말을 첨가하여 실시예에 따른 복합재를 제조하였다. 또한, 도 13에는 비교를 위한 대조군으로 나노분말을 첨가하지 않은 Al-Si-Mg 합금 주조재(즉, Al7Si0.3Mg_Ref)에 대한 결과도 포함되어 있다.
- [0072] 도 13을 참조하면, 실시예에 따라 제조된 복합재가 대조군인 Al-Si-Mg 합금 주조재(즉, Al7Si0.3Mg_Ref) 보다 상당히 높은 연신율 및 우수한 강도 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시예들에 따라 제조된 복합재 내에 형성된 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상에 의한 효과라고 할 수 있다.
- [0073] 도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재에 대한 인장 시험 결과를 보여주는 그래프이다. 도 14에는 실시예로서 6000 series sheet를 녹인 용탕에 1.0 wt% ZnO 나노분말을 첨가하여 제조된 주조재로부터 얻어진 복합재(압연 가공된 판재)에 대한 결과가 포함되어 있다. 여기서, 상기 복합재(압연 가공된 판재)는 주조재로부터 가공된 가공재(가공물)의 일례일 수 있다. 또한, 도 14에는 비교를 위한 대조군으로 일반적인 6000 series sheet(즉, 6XXX Sheet_Ref)에 대한 결과도 포함되어 있다.
- [0074] 도 14를 참조하면, 실시예에 따라 제조된 복합재가 대조군인 6000 series sheet(즉, 6XXX Sheet_Ref) 보다 상당히 높은 연신율 및 우수한 강도 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시예들에 따라 제조된 복합재 내에 형성된 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상에 의한 효과라고 할 수 있다.
- [0075] 부가해서, 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재는 우수한 열전도 특성을 가질 수 있다. 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상 내에서 비금속 원소(ex, 산소, 탄소, 질소)는 우수한 열전달 매개체의 역할을 할 수 있고, 밴드 구조 내에서 열을 효율적으로 확산시키는 역할을 할 수 있다. 따라서, 상기 비금속 원소(ex, 산소, 탄소, 질소)에 의해 밴드 구조 내에서 열전도 특성이 향상될 수 있다. 또한, 자기조직화 상과 이와 접한 서브-그레인은 정합 계면을 형성하고 있기 때문에, 정합 계면에 의해 알루미늄계 기지로 열이 효과적으로 전달될 수 있다. 따라서, 실시예에 따른 복합재 전체의 열전도 특성이 향상될 수 있다.
- [0076] 도 15는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이와 비교되는 대조군 물질의 전기전도도-열전도도 특성을 측정한 결과를 보여주는 그래프이다. 도 15에서 I-alloys로 표시된 물질들, 즉, Al-0, Al-6.5Si-0, Al-8.0Si-0, Al-10.5Si-0, Al-12.0Si-0로 표현된 물질들은 본 발명이 실시예에 따른 복합재에 해당된다. 이들은 밴드 구조의 자기조직화 상 내에 비금속 원소로서 산소(O)를 포함한다. 한편, 실시예와 비교되는 대조군으로서 Al, Al-6.5Si, Al-8.0Si, Al-10.5Si, Al-12.0Si, A356으로 표현된 물질들은 비금속 원소(즉, 산소)를 포함하지 않는다. 또한, 도 15에는 기타 다양한 금속들에 대한 데이터도 포함되어 있다.
- [0077] 도 15를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합재의 열전도도가 대조군 물질의 열전도도 보다 상당히 향상된 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이, 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상 내에서 비금속 원소에 의한 열확산 및 상기 자기조직화 상과 서브-그레인 사이의 정합 계면에 의한 효과적인 열전달에 의한 효과라고 볼 수 있다.
- [0078] 도 16은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 알루미늄계 기지를 포함한 복합재 및 이와 비교되는 대조군 물질의 경도(hardness)-열전도도 특성을 측정한 결과를 보여주는 그래프이다. 도 16에서 I-alloys로 표시된 물질들, 즉, 1000 series-0, Al-6.5Si-0, Al-8.0Si-0, Al-10.5Si-0로 표현된 물질들은 본 발명이 실시예에 따른 복합재에 해당된다. 이들은 밴드 구조의 자기조직화 상 내에 비금속 원소로서 산소(O)를 포함한다. 한편, 실시예와 비교되는 대조군으로서 1000 series, Al-6.5Si, Al-8.0Si, Al-10.5Si로 표현된 물질들은 비금속 원소(즉, 산소)를 포함하지 않는다. 또한, 도 16에는 다른 대조군으로서 3003 Sheet 및 5083 sheet 물질에 대한 데이터도 포함되어 있다.
- [0079] 도 16을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 복합재는 대조군 물질의 열전도도 보다 크게 향상된 열전도도를 가질 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면, 경도 및 강도와 같은 기계적 물성이 우수하면서도 열전도도가 획기적으로 향상된 복합재를 얻을 수 있다. 이는 밴드 구조를 갖는 자기조직화 상 및 정합 계면에 의한 효과라고 할 수 있다. 도 16은 복합재가 주조재인 경우에 대한 결과이지만, 주조재로부터 가공된 가공재의 경우에도 동일한 효과가 나타날 수 있다.
- [0080] 본 발명의 실시예에 따른 복합재는 우수한 기계적 물성을 가지면서도 우수한 열전도 특성을 가질 수 있기 때문

에, 다양한 분야에 유용하게 적용될 수 있다. 일례로, 본 발명의 실시예에 따른 복합재는 전기차 배터리 케이스의 재료로 적용될 수 있고, 이 경우, 전기차 배터리 케이스에서 고강도/고경도/고연신율 등 우수한 기계적 물성을 확보하면서도 높은 열전도도에 의한 우수한 방열 성능을 아울러 확보할 수 있다. 여기서 예시한 전기차 배터리 케이스 분야는 실시예에 따른 복합재의 적용 분야의 일례일 뿐이며, 상기 복합재는 그 밖에 다양한 많은 분야에서 유용하게 적용될 수 있다. 기존의 알루미늄계 금속 또는 합금 물질이 적용되었던 다양한 분야에 본 발명의 실시예에 따른 복합재가 적용될 수 있다.

[0081] 본 명세서에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 개시하였으며, 비록 특정 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 발명의 이해를 돕기 위한 일반적인 의미에서 사용된 것이지, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예 외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다. 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 도 1 내지 도 16을 참조하여 설명한 실시예에 따른 알루미늄계 기지를 포함한 복합재가, 본 발명의 기술적 사상이 벗어나지 않는 범위 내에서, 다양하게 치환, 변경 및 변형될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 때문에 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 특허 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 한다.

부호의 설명

[0082] * 도면의 주요 부분에 대한 부호설명 *

AM10 : 알루미늄계 지지

G10 : 그레인

GB1 : 그레인 바운더리

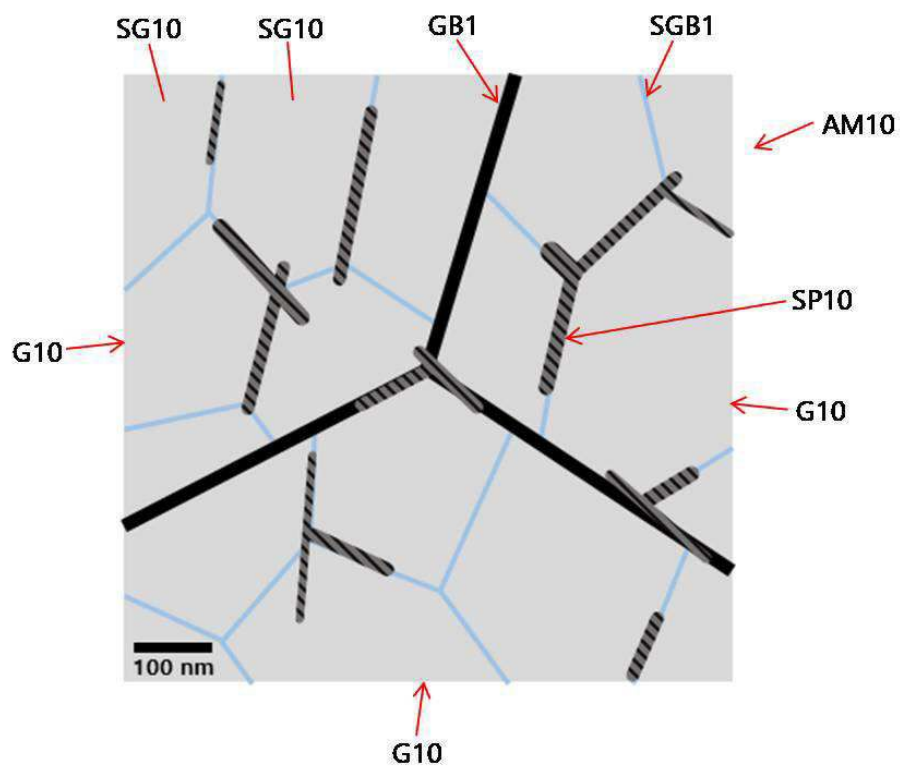
SG10 : 서브-그레인

SGB10 : 서브-그레인 바운더리

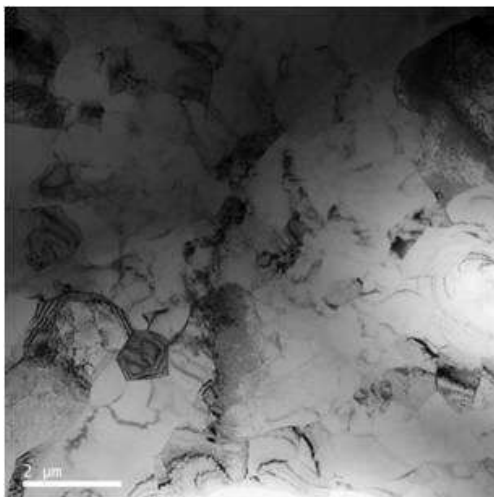
SP10 : 자기조직화 상

도면

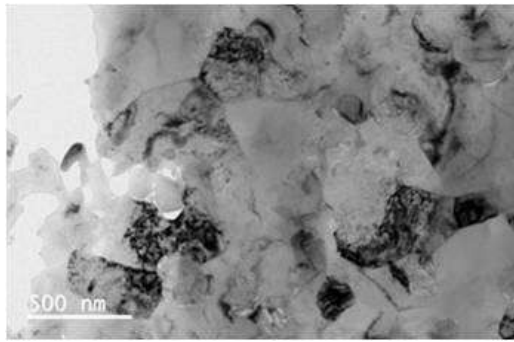
도면1



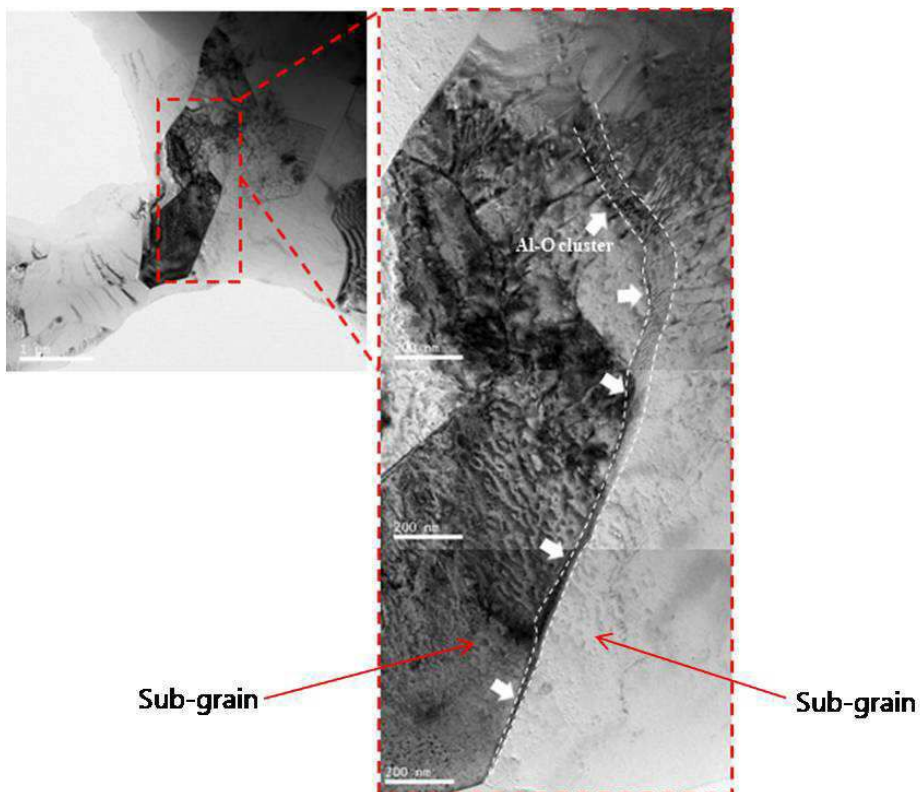
도면2



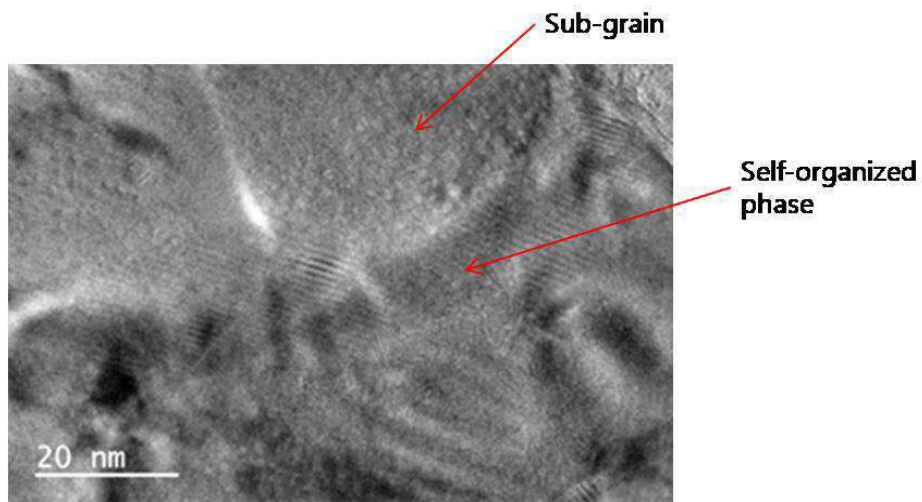
도면3



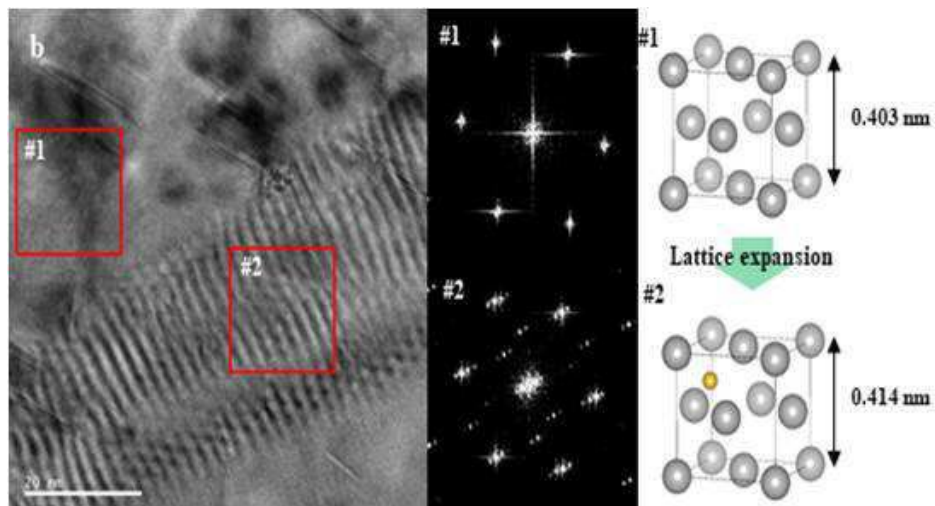
도면4



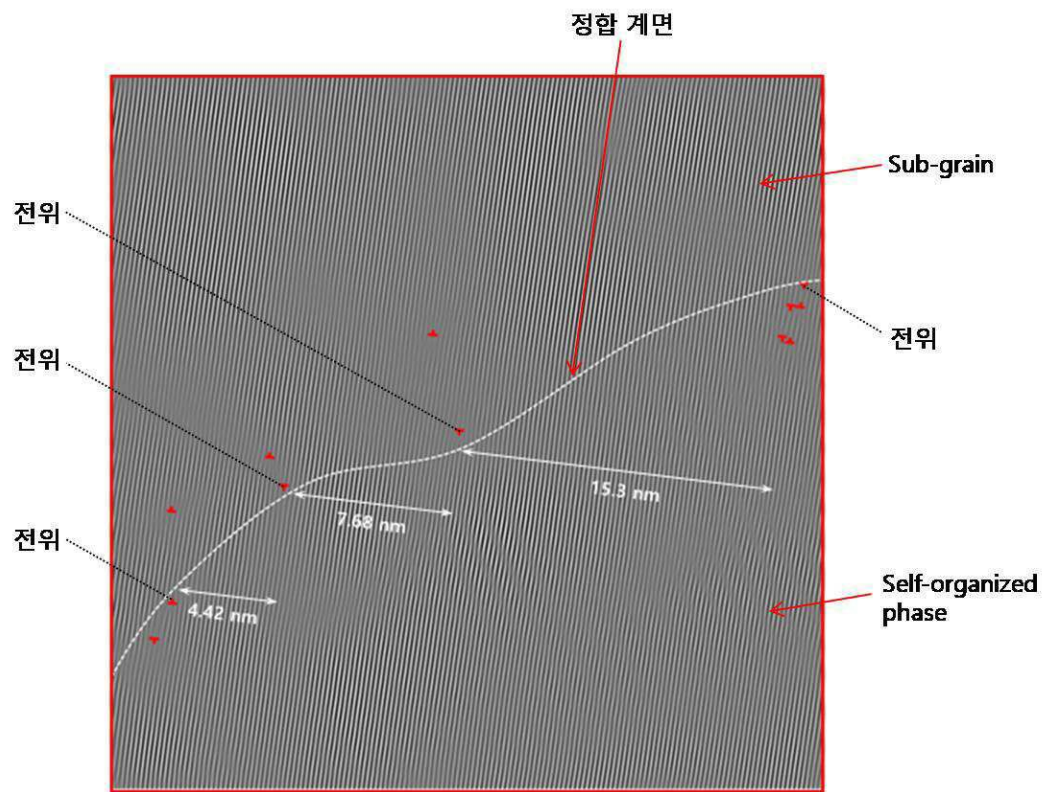
도면5



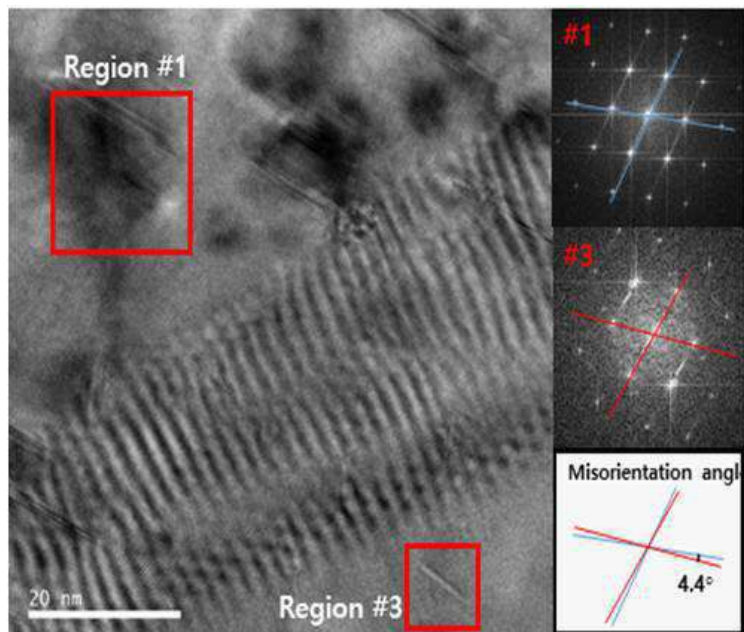
도면6



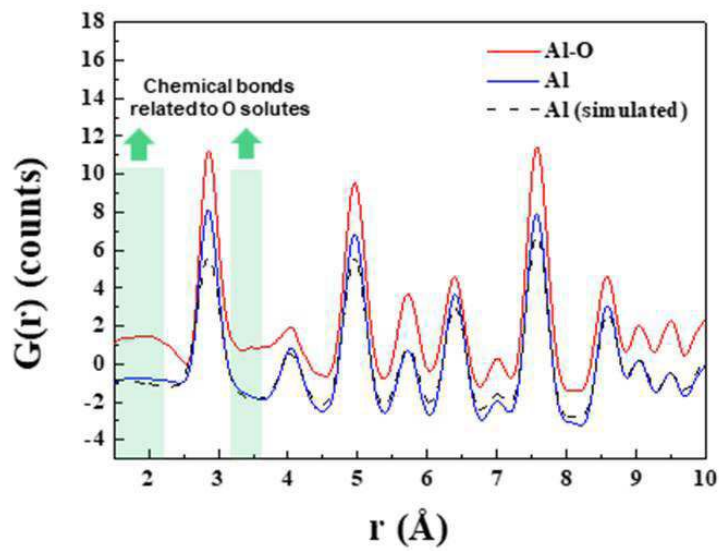
도면7



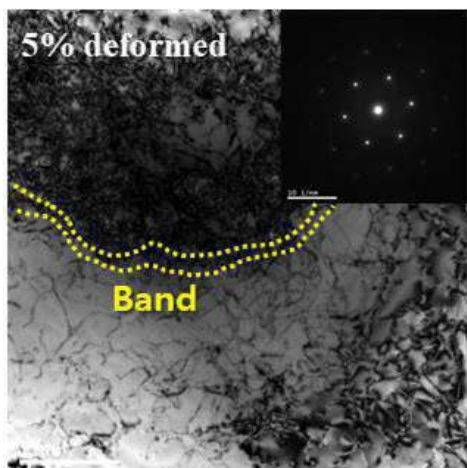
도면8



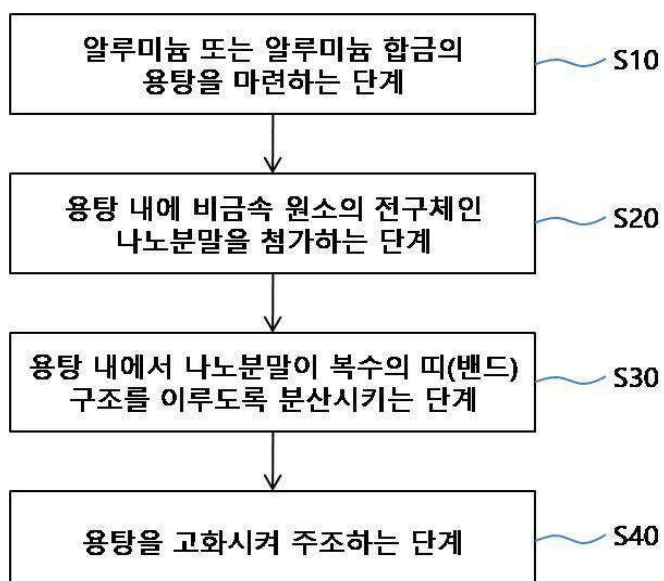
도면9



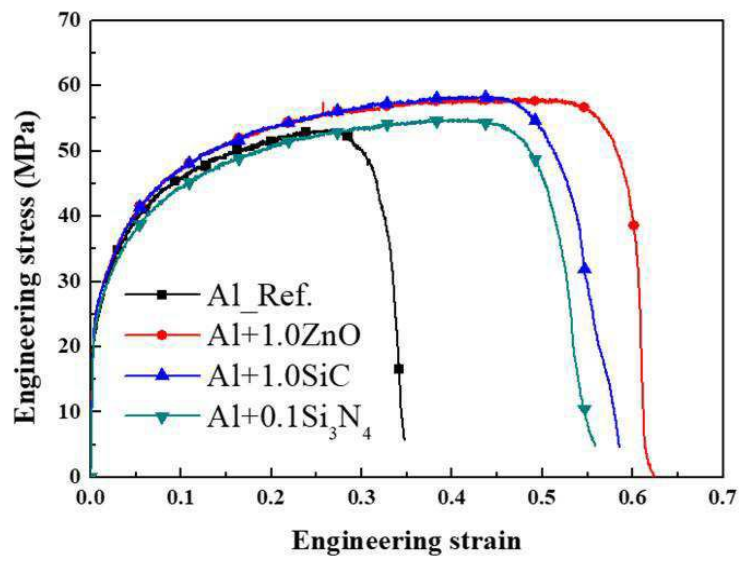
도면10



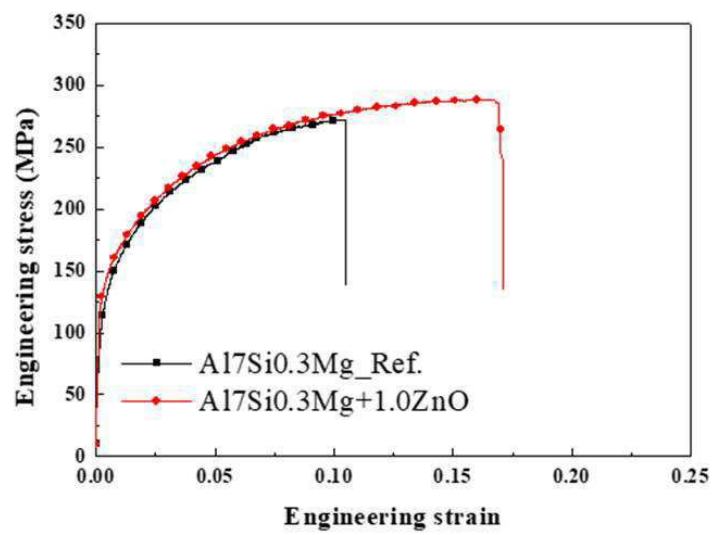
도면11



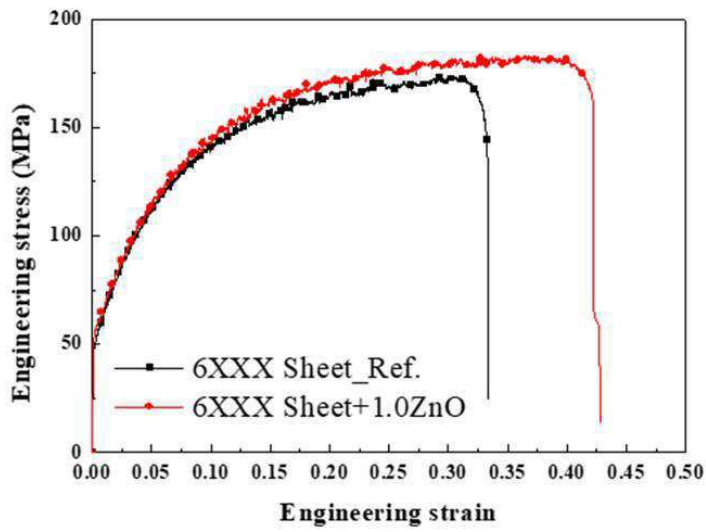
도면12



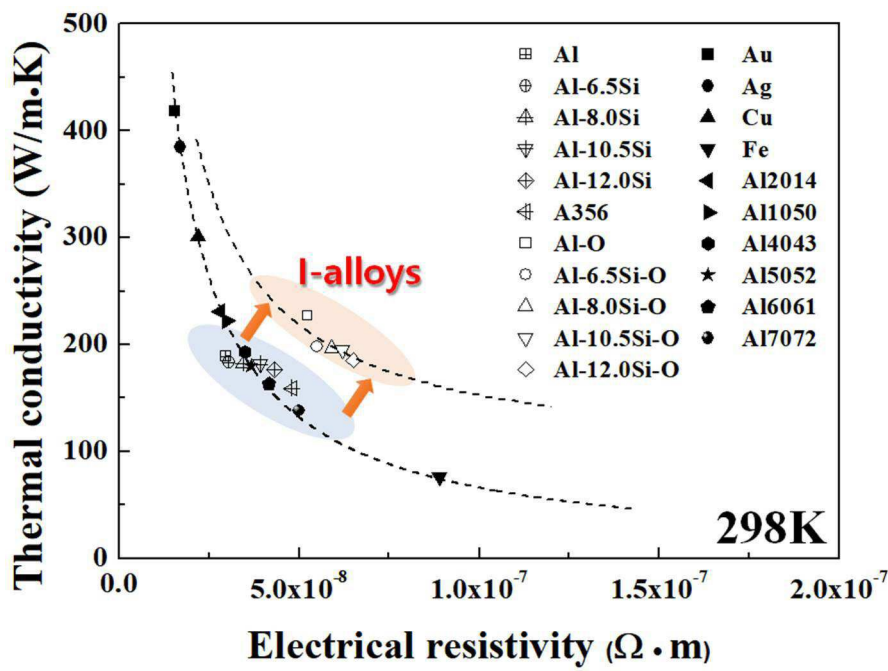
도면13



도면14



도면15



도면16

