(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0009973
(43) 공개일자 2025년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 1/05 (2022.01) *B22F 10/28* (2021.01)
B22F 10/38 (2021.01) *B22F 10/64* (2021.01)
B22F 9/08 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B33Y 70/00 (2020.01) *B33Y 80/00* (2015.01)
C22C 9/01 (2006.01) *C22F 1/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 1/05 (2023.08)
B22F 10/28 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2024-7037425
(22) 출원일자(국제) 2023년04월27일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년11월08일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/016612
(87) 국제공개번호 WO 2023/218985
국제공개일자 2023년11월16일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-077233 2022년05월09일 일본(JP)

(71) 출원인
후쿠다 킨조쿠 하쿠훈 코교 가부시키가이샤
일본 쿄토 600-8435 쿄토-시 시모교-쿠 마추바라 도리-무로마치 니시이루 나카노노쵸 176
(72) 발명자
이마이 켄
일본국 쿄토후 쿄토시 야마시나쿠 니시노야마 나카토미초 20 후쿠다 킨조쿠 하쿠훈 코교 가부시키가이샤 나이
스기타니 유지
일본국 쿄토후 쿄토시 야마시나쿠 니시노야마 나카토미초 20 후쿠다 킨조쿠 하쿠훈 코교 가부시키가이샤 나이
마츠모토 세이이치
일본국 쿄토후 쿄토시 야마시나쿠 니시노야마 나카토미초 20 후쿠다 킨조쿠 하쿠훈 코교 가부시키가이샤 나이
(74) 대리인
리앤목특허법인

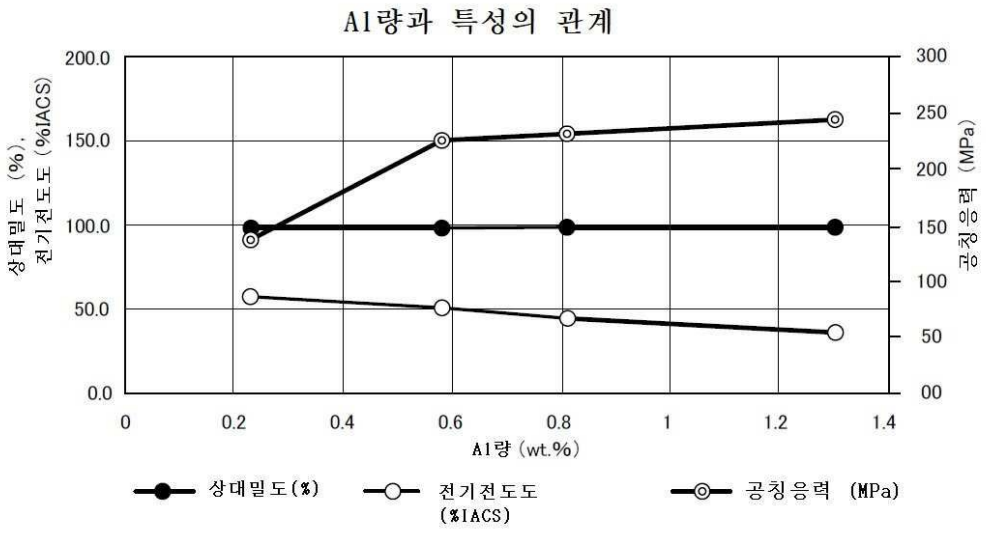
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **적층조형용 구리합금 분말과 이의 제조 방법, 및 구리합금 적층조형된 제품과 이의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명에 따르면, 고품질의 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있다. 본 발명은 적층조형법에 의해 적층조형된 제품을 만드는 데 사용되는 적층조형용 구리합금 분말을 제공하며, 상기 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된다. 적층조형을 위한 구리합금 분말의 제조 방법은 가스 분무법에 의해 구리에 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가하여 형성된 구리합금 분말을 생성하는 단계와, 상기 생성된 구리합금 분말을 10㎛ 이상 45㎛ 이하의 입자 크기로 분급하는 단계를 포함한다. 상기 구리합금 적층조형된 제품의 제조 방법은 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 구리합금 적층조형된 제품을 제조하는 단계, 및 상기 제조된 구리합금 적층조형된 제품을 400℃ 이상 600℃ 이하에서 1시간 동안 유지하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B22F 10/38 (2023.08)
B22F 10/64 (2021.01)
B22F 9/08 (2013.01)
B33Y 10/00 (2013.01)
B33Y 70/00 (2023.05)
B33Y 80/00 (2013.01)
C22C 9/01 (2013.01)
C22F 1/08 (2013.01)
B22F 2301/10 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

적층조형법에 의해 적층조형된 제품을 조형하는 데 사용되는 적층조형용 구리합금 분말로서,

상기 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하로 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하로 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 것인 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 적층조형용 구리합금 분말의 50% 입자 크기는 3㎛ 이상 200㎛ 이하인 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, JIS Z 2504의 측정 방법으로 측정된 상기 적층조형용 구리합금 분말의 겉보기 밀도가 3.5g/cm^3 이상인 것인 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 분말 레오미터를 사용하여 수행한 전단 시험으로 얻은 파괴 포락선(failure envelope)으로부터 얻은 적층조형용 구리합금 분말의 접착력이 0.600 kPa 이하인 것인 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 6

청구항 1에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말의 제조 방법으로서,

가스 분무법에 의해 구리에 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가하여 형성된 구리합금 분말을 생성하는 단계; 및

상기 생성된 구리합금 분말을 10㎛ 이상 45㎛ 이하의 입자 크기로 분급하는 단계를 포함하는 적층조형용 구리합금 분말의 제조 방법.

청구항 7

청구항 1에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품으로서,

상기 구리합금 적층조형된 제품은 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 구리합금 적층조형된 제품.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상대밀도가 99.0% 이상, 비커스경도가 90Hv 이상, 공칭응력이 260MPa 이상, 내력이 160MPa 이상, 및 마모량이 0.02g 이하인 것인 구리합금 적층조형된 제품.

청구항 9

청구항 2에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품으로서,

상기 구리합금 적층조형된 제품은 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성되며,

상대 밀도는 99.0% 이상, 비커스 경도는 150Hv 이상, 공칭응력은 500MPa 이상, 내력은 180MPa 이상, 및 마모량은 0.01g 이하인 것인 구리합금 적층조형된 제품.

청구항 10

구리합금 적층조형된 제품의 제조 방법으로서,

청구항 1 또는 청구항 2에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 구리합금 적층조형된 제품을 제조하는 단계; 및

상기 제조된 구리합금 적층조형된 제품을 400℃ 이상 600℃ 이하에서 1시간 동안 유지하는 단계를 포함하는 구리합금 적층조형된 제품의 제조 방법.

청구항 11

적층조형법에 의해 적층조형된 제품을 만드는 데 사용되는 적층조형용 구리합금 분말로서,

상기 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 것인 적층조형용 구리합금 분말.

청구항 12

청구항 11에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말의 제조 방법으로서,

가스 분무법에 의해 구리에 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 첨가하여 형성된 구리합금 분말을 생성하는 단계; 및

상기 생성된 구리합금 분말을 10㎛ 이상 45㎛ 이하의 입자 크기로 분급하는 단계를 포함하는 적층조형용 구리합금 분말의 제조 방법.

청구항 13

청구항 11에서 정의된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품으로서,

상기 구리합금 적층조형된 제품은 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 구리합금 적층조형된 제품.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상대밀도가 99.0% 이상, 비커스경도가 150Hv 이상, 공칭응력이 500MPa 이상, 내역이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 것인 구리합금 적층조형된 제품.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 적층조형(additive manufacturing)용 구리합금 분말과 이의 제조 방법, 및 구리합금 적층조형된 제품과 이의 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 상기 기술 분야에서 구리합금 적층조형된 제품의 강도(경도)와 전기 전도도는 일반적으로 교환균형(tradeoff)

관계를 갖는다. 특허문헌 1 및 2는 0.2질량% 이상 1.3질량% 이하의 알루미늄을 함유하고, 추가로 구리 및 불가피한 불순물을 함유하는 적층조형용의 구리합금 분말을 개시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 공개특허공보 제2017-115220호

(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 일본특허 제6532396호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 그러나 상기 문헌에 기술된 구리합금 분말을 사용하여 고품질의 구리합금 적층조형된 제품을 얻는 것은 불가능하다.

[0005] 본 발명은 상기 설명한 문제를 해결하는 기술을 제공하는 것을 가능하게 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 예시적인 양상은 적층조형법에 의해 적층조형된 제품을 생성하는 데 사용되는 적층조형용 구리합금 분말을 제공하며,

[0007] 여기서, 상기 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된다.

[0008] 본 발명의 또 다른 예시적인 양상은 적층조형용의 상기 설명된 구리합금 분말의 제조 방법을 제공하며, 이는 다음을 포함한다:

[0009] 가스 분무법에 의해 구리에 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가하여 형성된 구리합금 분말을 생성하는 단계; 및

[0010] 상기 생성된 구리합금 분말을 10㎛ 이상 45㎛ 이하의 입자 크기로 분급하는 단계.

[0011] 본 발명의 또 다른 예시적인 양상은 상기 설명한 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품을 제공하며,

[0012] 여기서 상기 구리합금 적층조형된 제품은 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고, 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성된다.

[0013] 본 발명의 또 다른 예시적인 양상은 상기 설명한 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품을 제공하며,

[0014] 여기서 구리합금 적층조형된 제품은 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고 나머지는 구리 및 불가피한 불순물로 형성되며,

[0015] 상대 밀도는 99.0% 이상, 비커스 경도는 150Hv 이상, 공칭응력(engineering stress)는 500MPa 이상, 내력(proof stress)은 180MPa 이상, 및 마모량(wear amount)은 0.01g 이하이다.

[0016] 본 발명의 또 다른 예시적인 양상은 구리합금 적층조형된 제품의 제조 방법을 제공하며, 이는 다음을 포함한다:

[0017] 상기 설명한 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형 장치에 의해 구리합금 적층조형된 제품을 제조하는 단계; 및

[0018] 상기 제조된 구리합금 적층조형된 제품을 400℃ 이상, 600℃ 이하에서 1시간 동안 유지하는 단계.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따르면, 고품질의 구리합금 적층조형된 제품을 얻는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 특허문헌 1에 있어서, 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 구리합금 적층조형된 제품의 상대밀도, 전기 전도도, 및 공칭응력의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 2는 실시예에서 사용된 적층조형 장치의 구성의 예를 도시한 도면이다.

도 3은 실시예 3에서 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품의 단면 조직을 보여주는 광학현미경 사진과 SEM/EBSD 방법으로 촬영한 BC 맵 및 KAM 맵을 나타낸다.

도 4는 실시예 1 내지 8 및 비교예 0 내지 6 각각의 구리합금 적층조형된 제품의 공칭응력, 연신율(elongation), 및 내력의 측정을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 실시예 1 내지 8과 비교예 0 및 1 각각에서 얻어진 구리합금 적층조형된 제품의 공칭응력 및 내력 간의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 6은 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 실시예 1 내지 8과 비교예 0 및 1 각각에서 얻어진 구리합금 적층조형된 제품의 마모량 간의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 7은 Cu-Al 합금의 급냉상(cooling phase) 다이어그램과 역치의 계산을 나타낸다.

도 8은 구리합금 적층조형된 제품의 템퍼링 온도와 실시예 4에서 얻어진 구리합금 적층조형된 제품의 공칭응력 및 내력 간의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 9는 Cu-Al 합금의 평형 상 다이어그램을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명의 예시적인 구체예를 도면을 참조하여 자세히 설명한다. 이러한 예시적인 실시예에 제시된 구성요소의 상대적인 배열, 수치적 표현 및 수치 값은 특별히 달리 언급되지 않는 한 본 발명의 범위를 제한하지 않는다는 점에 유의해야 한다.

[0022] [제1 예시적 구체예]

[0023] 본 예시적 구체예에서, 충분한 기계적 강도(공칭응력, 내력, 또는 내마모성)를 갖는 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있는, 적층조형용 구리합금 분말에 대해 설명한다. 그에 앞서, 적층조형용 구리합금 분말의 현재 상황에 대해 설명하겠다.

[0024] <적층조형용 구리합금 분말의 현재 상황>

[0025] 적층조형 기술은 복잡한 형상을 가지고 기존의 가공 기술로는 제조하기 어려운 제품을 생산하도록 할 수 있으며, 이 기술은 다양한 분야에 응용될 것으로 기대된다. 특히 기계적 특성이 뛰어난 금속재료의 적용이 요구된다. 금속재료 중 구리는 높은 전기 전도성이나 열 전도성을 가지고 있으며, 히트싱크나 열교환기 등 복잡한 형상의 제품에 대한 적층조형 방법의 적용이 기대된다.

[0026] 그러나 특허문헌 1 및 2에서와 같이 기계적 강도와 전기 전도도를 동시에 향상시킬 수 있는 구리합금 분말을 얻었기 때문에 알루미늄 원소를 함유하는 구리합금 적층조형된 제품의 기계적 강도인 공칭응력(최대 응력)이나 내력(내력 또는 0.2% 오프셋 내력), 또는 내마모성(마모량)에 관한 충분한 결과를 얻는 것이 불가능하다. 이러한 이유로 구리합금 적층조형된 제품의 적용 목적도 제한적이다.

[0027] 예를 들어, 특허문헌 1 및 2에서 알루미늄 원소 함유 구리합금 적층조형된 제품의 특성은 도 1에 나타낸 바와 같은 그래프로 제시할 수 있다. 즉, 특허문헌 1 및 2에서는 알루미늄 원소를 0.2질량% 이상 1.3질량% 이하 함유하는 구리합금 분말을 사용하여, 상대 밀도가 96% 이상 100% 이하, 전기 전도도가 30%IACS 이상, 및 공칭응력(최대 응력)가 130MPa 이상 250MPa 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있다.

[0028] <본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리 합금 분말>

[0029] 본 예시적 구체예에서, 적층조형 장치에 의한 적층조형 방법에 적합한 입자 형상, 입자 크기, 겉보기 밀도, 및 유속을 갖고, 기계적 강도인 공칭응력 또는 내력, 또는 우수한 내마모성을 갖는 구리합금 적층조형된 제품을 적층 조형할 수 있는 적층조형용 구리합금 분말이 제공된다.

[0030] (적층조형용 구리합금 분말의 조건)

[0031] 적층조형 장치에 의해 적층조형가 가능한 구리합금 분말은 다음과 같은 조건을 가져야 한다.

[0032] (1) 레이저 회절법으로 측정한 구리합금 분말 입자의 50% 입자 크기가 3㎛ 이상 200㎛ 이하의 범위에 속한다. 상기 구리합금 분말 입자의 50% 입자 크기가 3㎛보다 작으면 유속이 존재하지 않으며, SLM 유형의 적층조형 장치도 분말 베드를 형성할 수 없다. 반면, 구리합금 분말 입자의 50% 입자 크기가 200㎛보다 클 경우, EBM 유형의 적층조형 장치라도 분말 베드의 표면이 거칠어지기 때문에 적층조형에 적합한 분말 베드를 형성할 수 없다.

[0033] (2) 구리합금 분말의 겉보기밀도(AD)는 3.0g/cm^3 이상이다. 상기 구리합금 분말의 겉보기 밀도가 3.0 미만이면, 적층조형 장치 내에서 분말 베드의 분말 충전 속도가 감소하고, 적절한 분말 베드를 형성할 수 없다.

[0034] (3) 구리합금 분말의 유속(FR)은 60초/50g 이하이다. 상기 구리합금 분말의 유속이 60초/50g 이상일 경우, 적층조형 장치 내의 공급 호퍼로부터 분말을 공급할 수 없고, 적절한 분말 베드를 형성할 수 없다. 유속(FR)을 측정할 수 없는 경우, 구리합금 분말의 접착력(분말 레오미터를 사용하여 실시한 전단 시험에 의해 얻은 파괴 포락선으로부터 얻음)은 0.600kPa 이하임에 유의한다. 상기 구리합금 분말의 접착력이 0.600 kPa 이상인 경우, 적층조형 장치 내의 공급 호퍼로부터 분말을 공급할 수 없고, 적절한 분말 베드를 형성할 수 없다.

[0035] (적층조형용 구리합금 분말의 제조 방법)

[0036] 본 예시적인 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말은 예를 들어, "회전 디스크법", "가스 분무법(gas atomization method)", "물 분무법", "플라스마 분무법", "플라스마 회전 전극 법" 또는 이와 유사한 방법에 의해 제조될 수 있다. 본 예시적 구체예에서는 이러한 방법 중 "가스 분무법"을 사용한다. 헬륨, 아르곤, 또는 질소 등의 가스를 분무가스로 사용하고, 상기 가스의 압력과 유속을 조절하여 구리합금 분말을 제조한다. 비슷한 구리합금 분말은 또다른 제조 방법을 사용하여 제조될 수도 있다. 제조된 구리합금 분말을 미리 정해진 입자 크기(예를 들어, 10㎛ 이상 45㎛ 이하)로 분급하였다.

[0037] (적층조형용 구리합금 분말의 특성 측정)

[0038] 제조된 적층조형용 구리합금 분말에 대하여 다음과 같은 특성을 측정하였다.

[0039] (1) ICP(Inductively Coupled Plasma) 원자 방출 분광법에 의해 구리에 알루미늄 원소를 첨가하여 얻은 구리합금 분말 중의 알루미늄 원소 함량을 측정하였다.

[0040] (2) 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말의 겉보기 밀도(g/cm^3)는 JIS Z 2504의 측정 방법에 따라 측정하였다.

[0041] (3) 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말의 유속(sec/50g)은 JIS Z 2502의 측정법에 따라 측정하였다.

[0042] (4) 구리합금 분말의 접착력은 분말유동계(powder rheometer)를 이용하여 전단시험을 실시하여 얻은 파손포락선으로부터의 유속을 지표로 하여 측정하였다.

[0043] (5) 50% 입자크기(㎛)는 레이저회절법으로 측정하였다.

[0044] (측정 결과의 평가)

[0045] 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말은 알루미늄 원소를 0.6중량% 이상 14.0중량% 이하 첨가한 것으로, 유속 측정(3)이 불가능하였음에도 불구하고, 적층조형 장치에 의한 적층조형을 가능하게 하는 상기 조건을 충족하였다. 즉, 유속 자체는 측정할 수 없었지만, 상기 분말은 (1) 구리합금 분말 입자의 50% 입자 크기, (2) 구리합금 분말의 겉보기 밀도, 및 (3) 구리합금 분말의 접착력을 모두 충족하였다.

[0046] <본 예시적 구체예의 적층조형된 제품의 제조>

[0047] 도 2는 본 실시예에 따른 적층조형 장치(200)의 도식적인 구성의 예를 나타낸 도면이다. 상기 적층조형 장치(200)는 전자 빔 또는 레이저 빔(201a)의 방출 메커니즘(201), 분말 탱크인 호퍼(202), 미리 정해진 두께로 분말을 놓아 분말 베드를 형성하도록 구성된 스퀴징 블레이드(203), 및 적층을 위해 미리 정해진 두께만큼 반복적으로 감소하는 테이블(204)을 포함한다. 스퀴징 블레이드(203)과 테이블(204)의 협력으로, 미리 정해진 두께를 갖는 균일한 분말 적층 부분(205)이 생성된다. 3D-CAD 데이터로부터 얻은 슬라이스 데이터를 기반으로 각 층에 전자빔 또는 레이저빔(201a)을 조사하고, 금속 분말(본 예시적 구체예에서는 구리합금 분말)을 용융시켜 적층조

형된 제품(205a)를 제조한다.

[0048] 사용된 에너지 밀도 ED(J/㎛^{3})는 ED = LP/(SS×HP×LT)로 조정되었음을 주목하라. 여기서, LP: 레이저 출력(W), SS: 레이저 스캔 속도(㎜/s), HP: 레이저 스캔 피치(㎜), LT: 분말 베드 두께(㎜)이다(표 2 참조).

[0049] (적층조형된 제품의 조건)

[0050] 본 예시적 구체예에 따른 유용한 적층조형된 제품은 다음과 같은 조건이 필요하다. 다음 조건은 구리합금 적층조형된 제품이 원하는 기계적 강도를 얻는 데 필요한 조건이다.

[0051] (1) 구리합금 분말을 이용하여 적층조형된 제품은 충분한 상대밀도를 갖는다. 예를 들어 상대 밀도는 99.0% 이상이다.

[0052] (2) 적층조형된 제품의 비커스 경도는 90.0Hv 이상, 및 바람직하게는 150.0Hv 이상이다.

[0053] (3) 적층조형된 제품의 공칭응력은 260.0MPa 이상, 및 바람직하게는 500.0MPa 이상이다.

[0054] (4) 적층조형된 제품의 내력은 160.0MPa 이상, 및 바람직하게는 200.0MPa 이상이다.

[0055] (5) 적층조형된 제품의 마모량은 0.02g 이하, 및 바람직하게는 0.01g 이하이다.

[0056] (적층조형된 제품의 특성 측정)

[0057] 제조된 적층조형된 제품에 대하여 다음과 같은 특성을 측정하였다.

[0058] (1) 제조된 적층조형된 제품의 단면 조직, BC(Band Contrast) 맵, KAM(Kernel Average Misorientation) 맵을 광학현미경 및 SEM(Scanning Electron Microscope)/EBSD(Electron Back Scatter Diffraction) 방법에 의해 수득하였다.

[0059] (2) 적층조형된 제품 및 상기 적층조형된 제품과 동일한 조성을 갖는 분말을 아르키메데스법으로 측정하고, 상기 분말의 밀도를 100%로 정의하여 적층조형된 제품의 상대 밀도(%)를 계산하였다.

[0060] (3) 적층조형된 제품의 비커스 경도(Hv)는 미세경도계(micro hardness tester)를 이용하여 측정하였다.

[0061] (4) 적층조형된 제품의 공칭응력(MPa: 최대 응력), 신장률(%), 및 내력(MPa)은 만능재료시험기를 이용하여 측정하였다.

[0062] (5) 적층조형된 제품의 마모량(g)은 다기능 마모시험기(multifunction wear tester)를 이용하여 측정하였다.

[0063] (6) 적층조형된 제품의 전기전도도(%IACS)는 와전류 전도도 측정기를 이용하여 측정하였다.

[0064] (측정 결과의 평가)

[0065] 알루미늄 원소를 1.3질량% 이상 12.5질량% 이하 함유하는, 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말을 이용하여 상대 밀도 99.0% 이상의 조건 (1)을 충족하는 적층조형된 제품을 제조하였다. 또한, (2) 비커스 경도 90.0Hv 이상을 충족하는 적층조형된 제품을 제조하였다. 게다가, (3) 공칭응력 260.0MPa 이상 및 (4) 내력 160.0MPa 이상을 충족하는 적층조형된 제품을 제조하였다. 나아가, (5) 마모량이 0.02g 이하인 적층조형된 제품을 제조하였다.

[0066] 나아가, 알루미늄 원소를 7.0질량% 이상 12.5질량% 이하 함유하는, 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말을 사용함으로써, 상대 밀도가 99.0% 이상, 비커스 경도가 150.0Hv 이상, 공칭응력(최대 응력)가 500MPa 이상, 내력이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있다.

[0067] (적층조형에 적합한 구리합금 분말의 조성)

[0068] 본 예시적 구체예에서는 구리에 적정량의 알루미늄 원소를 첨가함으로써 스퀴징을 가능하게 하는 적층조형용 구리합금 분말의 조건을 충족하고 적층조형 장치에 의한 적층조형 후의 그 적층조형된 제품이 기계 제품 또는 구성 요소로서 충분한 상대 밀도와 충분한 기계적 강도를 갖는 구리합금 분말을 제공한다.

[0069] 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말로서, 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하고, 나머지가 구리 및 불가피한 불순물로 형성된 적층조형용 구리합금 분말이 바람직하다. 알루미늄 원소를 1.7중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하는 적층조형용 구리합금 분말이 더욱 바람직하다. 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하는 적층조형용 구리합금 분말이 더욱 바람직하다.

[0070] <본 예시적 구체예의 효과>

[0071] 본 예시적 구체예에 따르면, 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가한 적층조형용 구리합금 분말이 제공되었고, 밀도가 높고 기계적 강도가 우수한 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있었다.

[0072] 즉, 레이저 회절법으로 측정한 구리합금 분말의 입자의 50% 입자 크기가 3㎛ 이상 200㎛ 이하의 범위 내에 있으므로 분말 베드 표면이 거칠지 않고, 유속이 충분하여 스퀴징이 용이하다. 또한, 구리합금 분말의 겉보기 밀도가 3.5g/cm^3 이상이기 때문에 분말 베드의 분말 충전율이 충분하여 적절한 분말 베드를 형성할 수 있다. 또한, 구리합금 분말의 접착력이 0.600 kPa 이하이므로, 공급 호퍼로부터의 분말 공급이 원활하게 이루어지고, 적절한 분말 베드를 형성할 수 있다.

[0073] 또한, 알루미늄을 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가함으로써 레이저 출력, 레이저 스캔 속도, 레이저 스캔 피치, 분말 베드 두께로부터 계산된 에너지 밀도에 의해 설정된 조건 하에서 생성된 제품의 상대 밀도가 99.0% 이상인 구리합금 적층조형된 제품을 제조할 수 있다. 또한, 비커스 경도가 90Hv 이상, 공칭응력이 260MPa 이상, 내력이 160MPa 이상이며, 마모량이 0.02g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 제조할 수 있다.

[0074] 또한, 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하 첨가함으로써 상대밀도가 99.0% 이상, 비커스 경도가 150Hv 이상, 공칭응력이 500MPa 이상, 내역이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 제조할 수 있다.

[0075] [제2 예시적 구체예]

[0076] 본 예시적 구체예에서, 제1 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품에 대해 추가로 템퍼링 처리를 수행하여 기계적 강도, 특히 내력을 향상시킨다. 템퍼링 처리 전 적층조형용 구리합금 분말의 제조 및 상기 적층조형용 구리합금 분말을 이용하여 구리합금 적층조형된 제품을 제조하는 것은 제1 예시적 구체예와 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다는 점을 주목할 것. 또한, 본 예시적 구체예에서는 알루미늄 원소를 10.0중량% 함유하는 적층조형용 구리합금 분말을 일례로 설명한다. 그러나 알루미늄 원소를 함유하는 적층조형용의 다른 구리합금 분말로부터 적층 조형된 구리합금 적층조형된 제품에서도 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0077] <본 예시적 구체예의 적층제조된 제품의 템퍼링 처리>

[0078] 제1 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말(알루미늄 원소 함량: 10.0중량%)을 사용하여 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품을 400℃에서 600℃(400℃ 이상에서 600℃ 이하)로 온도를 변화시키면서 수소 분위기에서 1시간(60분) 유지하여 템퍼링 처리를 실시하였다.

[0079] (템퍼링 처리의 효과)

[0080] 템퍼링 온도가 400℃에서 600℃로 증가함에 따라 공칭응력은 894.98MPa에서 591.90MPa로 선형적으로 감소했지만 내력은 188.70MPa으로부터 253.60MPa 이상으로 상승했다.

[0081] <본 예시적 구체예의 효과>

[0082] 본 예시적 구체예에 따르면, 구리합금 적층조형된 제품에 템퍼링 처리를 수행함으로써, 내력이 향상되어 외력에 의해 변형되기 어려운 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있었다.

[0083] [제3 예시적 구체예]

[0084] 본 예시적 구체예에서는 제1 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말에 철 원소(Fe), 니켈 원소(Ni), 및 망간 원소(Mn)를 추가로 첨가하여 얻은 적층조형용 구리합금 분말을 제조하였다. 제조된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형된 제품이 만들어졌다.

[0085] 철원소, 니켈원소, 및 망간원소를 첨가함으로써 다음과 같은 영향이 얻어진다.

[0086] (철 원소의 첨가)

[0087] · α-상 고체 용해도 한계에서 철 원소를 첨가함으로써 구리의 알루미늄 고체 용해도 한계가 약간 영향을 받는다.

[0088] · 공석 변태 속도(β→α+γ2)에서는 저온부분의 변태가 지연된다.

[0089] · 금속 조직에서는 κ-상(σ-Fe 또는 Fe-Ni)이 석출된다. κ-상은 Fe 첨가량이 증가함에 따라 수지상과 같은 거친 침전상(precipitate phase)을 형성하는 경향이 있다. Fe가 약 3.5중량% 이상 함유되면, 1차 결정인 κ-상이 β-상의 응고조직을 효과적으로 미세화시킨다.

[0090] (니켈 원소의 첨가)

[0091] · α-상 고체 용해도 한계에서 니켈 원소를 첨가함으로써 α-상 영역이 확장되고 β-상의 안정성이 감소한다. 따라서, 공석 변태가 촉진된다.

[0092] · 공석 변태 속도(β→α+γ2)에서는 공석 변태의 시작을 약간 촉진시키고, 변태의 종료를 지연시키는 효과가 얻어진다.

[0093] · 금속 조직에서는 κ-상(Ni-Al)이 석출된다. κ-상을 석출시킴으로써 알루미늄 청동에 노화 경화 특성이 부여된다.

[0094] 상기 공정 (철원소의 첨가) 및 (니켈원소의 첨가)에 의해 응고 조직이 미세화되고, 균일하게 분산된 κ-상이 얻어진다. 이는 "공칭응력(최대 응력)"와 "내력"을 향상시킨다. 또한, 열처리에 의해 기계적 특성이 쉽게 향상될 수 있으며, 특히 "내력"이 향상될 수 있다.

[0095] (망간 원소의 첨가)

[0096] · α-상 고체 용해도 한계에서 망간 원소를 첨가함으로써 1중량% 부근까지는 α-상 및 κ-상의 석출 형상에 영향을 미치지 않는다. 그러나 망간의 양이 증가하면 α-상 영역이 좁아지는 경향이 있다.

[0097] · 공석 변태 속도(β→α+γ2)에서는 공석 변태가 현저히 지연된다. 또한 변태 온도가 현저히 감소한다.

[0098] · 금속 조직 내에서 망간 조성이 높은 경우에는 β-상과 α-상에 Cu3Mn2Al상이 석출된다.

[0099] 상기 공정(망간원소의 첨가)에 의해 β-상의 공석 변태가 지연된다. 따라서, 느린 냉각에도 깨지기 쉬운 γ2-상의 석출은 방해를 받는다. 또한, α-상 영역이 좁아지므로, Mn량이 증가함에 따라, "공칭응력(최대 응력)", "내력", 및 "비커스 경도"가 향상된다.

[0100] 본 예시적 구체예에서의 철 원소, 니켈 원소, 및 망간 원소의 첨가 방법은 제1 예시적 구체예에 따른 알루미늄 원소 첨가 방법과 동일하다. 본 예시적 구체예에서, 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 함유하는 적층조형용 구리합금 분말을 제조하였다.

[0101] 제조된 적층조형용으로 제조된 구리합금 분말에 대하여 다음과 같은 특성을 측정하였다.

[0102] (1) ICP(Inductively Coupled Plasma) 원자 방출 분광법에 의해, 제조된 구리합금 분말 중 알루미늄 원소, 철 원소, 니켈 원소, 및 망간 원소의 함량을 측정하였다.

[0103] (2) 제조된 구리합금 분말의 겉보기 밀도(g/cm^3)는 JIS Z 2504의 측정방법에 따라 측정하였다.

[0104] (3) 제조된 구리합금 분말의 유속(sec/50g)은 JIS Z 2502의 측정방법에 따라 측정하였다.

[0105] (4) 제조된 구리합금 분말의 접착력은 분말유동계를 이용하여 실시한 전단시험으로 얻은 파손포락선으로부터의 유속을 지표로 하여 측정하였다.

[0106] (5) 제조된 구리합금 분말의 50% 입자크기(μm)는 레이저회절법으로 측정하였다.

[0107] (측정 결과의 평가)

[0108] 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말은 유속 측정(3)이 불가능하였음에도 불구하고, 적층조형 장치에 의한 적층조형을 가능하게 하기 위한 상기 설명한 조건을 충족하였다. 즉, 유속 자체는 측정 가능했지만, 상기 분말은 (1) 구리합금 분말 입자의 50% 입자 크기, (2) 구리합금 분말의 겉보기 밀도, (3) 구리합금 분말의 접착력을 모두 충족하였다.

[0109] 즉, 제1 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말과 마찬가지로 다음의 조건을 충족하였다.

[0110] (1) 레이저 회절법으로 측정한 구리합금 분말 입자의 50% 입자경은 3μm 이상 200μm 이하의 범위에 속한다.

[0111] (2) 구리합금 분말의 겉보기밀도(AD)는 3.0g/cm^3 이상이다.

[0112] (3) 구리합금 분말의 유속(FR)은 60초/50g 이하이다. 유속(FR)을 측정할 수 없는 경우, 구리합금 분말의 접착력(분말 레오미터를 사용하여 실시한 전단 시험에 의해 얻은 파괴 포락선으로부터 얻음)은 0.600kPa 이하임을 주목할 것.

[0113] 다음으로, 도 2에 도시된 적층조형 장치(200)에 의해 제조된 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 적층조형된 제품이 제1 예시적 구체예와 같이 생성되었다. 사용된 에너지 밀도 ED(J/μm^3)는 ED = LP/(SS×HP×LT)로 조정되었다. 여기서, LP: 레이저 출력(W), SS: 레이저 스캔 속도(mm/s), HP: 레이저 스캔 피치(mm), LT: 분말 베드 두께(mm)이다(표 9 참조).

[0114] 적층조형된 제품에 관하여 다음과 같은 특성을 측정하였다.

[0115] (1) 광학현미경 및 SEM(Scanning Electron Microscope)/EBSD(Electron Back Scatter Diffraction)법에 의해, 제조된 적층조형된 제품의 단면 조직, BC(Band Contrast) 맵, 및 KAM(Kernel Average Misorientation) 맵을 획득하였다.

[0116] (2) 적층조형된 제품과, 적층조형된 제품과 동일한 조성을 갖는 분말을 아르키메데스법으로 측정하고, 분말의 밀도를 100%로 정의하여 적층조형된 제품의 상대 밀도(%)를 계산하였다.

[0117] (3) 적층조형된 제품의 비커스 경도(Hv)는 미세경도계를 이용하여 측정하였다.

[0118] (4) 적층조형된 제품의 공칭응력(MPa:최대응력), 연신율(%), 및 내력(MPa)은 만능재료시험기를 이용하여 측정하였다.

[0119] (5) 적층조형된 제품의 마모량(g)은 다기능 마모시험기를 이용하여 측정하였다.

[0120] (6) 적층조형된 제품의 전기전도도(%IACS)는 와전류 전도도 측정기를 사용하여 측정되었다.

[0121] (측정 결과의 평가)

[0122] 알루미늄 원소를 7.0질량% 이상 12.5질량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 함유하는, 본 예시적 구체예에 따른 적층조형용 구리합금 분말을 사용함으로써, 상대 밀도가 99.0% 이상, 비커스 경도가 150.0Hv 이상, 공칭응력(최대응력)가 500MPa 이상, 내력이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있다.

[0123] <본 예시적 구체예의 효과>

[0124] 본 예시적 구체예에 따르면, 알루미늄 원소를 7.0질량% 이상 12.5질량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 첨가한 적층조형용 구리합금 분말이 제공되었고, 밀도가 높고 기계적 강도가 우수한 구리합금 적층조형된 제품을 얻을 수 있었다.

[0125] 즉, 레이저 회절법으로 측정한 구리합금 분말의 입자의 50% 입자크기가 3㎛ 이상 200㎛ 이하의 범위 내에 있으므로, 분말 베드 표면이 거칠어지지 않고, 유속이 충분하여 스퀴징이 용이하다. 또한, 구리합금 분말의 겉보기 밀도가 3.5g/cm^3 이상이기 때문에, 분말 베드의 분말 충전율이 충분하여 적절한 분말 베드를 형성할 수 있다. 또한, 구리합금 분말의 접착력이 0.600 kPa 이하이므로, 공급 호퍼로부터의 분말 공급이 원활하게 이루어지고, 적절한 분말 베드를 형성할 수 있다.

[0126] 또한, 알루미늄 원소를 7.0질량% 이상 12.5질량% 이하, 철 원소를 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소를 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소를 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하 첨가함으로써 레이저 출력, 레이저 스캔 속도, 레이저 스캔 피치, 및 분말 베드 두께로부터 계산된 에너지 밀도에 의해 설정된 조건 하에서 생성된 제품의 상대 밀도가 99.0% 이상이고, 비커스 경도가 150Hv 이상이고, 공칭응력이 500MPa 이상, 내력이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 제조할 수 있었다.

[0127] **실 시 예**

[0128] 제1 예시적 구체예에 따른 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 0 내지 비교예 5를 이하 설명한다.

[0129] <적층조형용 구리합금 분말의 제조>

[0130] 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말을 가스 분무법에 의해 제조하였다. 헬륨, 아르곤, 또는 질소를 분무가스로 사용하고, 가스의 압력과 유속을 조절하여 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말을 제조하였다.

[0131] 첨가 후의 알루미늄 원소 함량을 0.6중량%(비교예 0), 1.3중량%(비교예 1), 2.0중량%(실시예 1), 5.0중량%(실시예 2), 7.0중량%(실시예 3), 10.0중량%(실시예 4), 12.0중량%(실시예 5), 및 14.0중량%(비교예 2)로 변화시키면서 구리합금 분말을 제조하였다.

[0132] 이들을 고압 물 분무법을 이용한 구리 미분말(비교예 3), 플라즈마 회전 전극법을 이용한 구리 구형 분말(비교예 4), 및 가스 분무법을 이용한 구리 분말(비교예 5)과 비교하였다.

[0133] (적층조형용 구리합금 분말의 특성 측정)

[0134] ICP 원자 방출 분광법에 의해 알루미늄 원소가 첨가된 각 구리합금 분말의 알루미늄 원소 함량을 측정하였다. 또한, 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말의 겉보기 밀도(g/cm^3)는 JIS Z 2504에 따라 측정하였다. 알루미늄 원소를 첨가한 구리합금 분말의 유속(초/50g)은 JIS Z 2502에 따라 측정하였다. 50% 입자 크기(㎛)는 레이저 회절법(Microtrac MT3300: MicrotracBEL에서 구입 가능)으로 측정되었다. 표 1은 실시예 1 내지 5와 비교예 0, 1 및 2에 따라 제조된 구리합금 분말의 특성을 나타낸다. Powder Rheometer FT4(Freeman Technology에서 구입 가능)를 사용하여 전단 시험을 실시하였고, 얻어진 각각의 구리합금 분말의 접착력(kPa)을 측정하였다. 또한 금속 블록의 한 면에 틈새를 형성하도록 가공하여 형성된 지그로, 미리 정해진 필름 두께로 페인트나 잉크를 도포할 수 있는 지그인 닥터 블레이드 또는 어플리케이터라고 불리는 지그를 사용하여 각 분말이 스퀴징이 가능한 구리합금 분말인지도 확인했다.

[0135] 표 1은 실시예 1 내지 5 및 비교예 0, 1, 및 2에서 제조된 구리합금 분말과 비교예 3 내지 5의 구리분말의 특성을 나타낸다.

표 1

[0136]

	조성		분말의 특성				스퀴징 가능성
	원소 함량 (중량%)		AD	FD	D50	접착력	○
	Cu	Al	(g/cm^3)	(초/50g)	(㎛)	(kPA)	○
비교예 0	Bal.	0.6	5.12	없음	25.3	0.48	○
비교예 1	Bal.	1.3	5.06	없음	25.3	0.38	○
실시예 1	Bal.	2.0	4.99	없음	25.3	0.56	○
실시예 2	Bal.	5.0	4.72	없음	25.8	0.52	○
실시예 3	Bal.	7.0	4.55	없음	24.1	0.33	○
실시예 4	Bal.	10.0	4.35	없음	25.6	0.56	○
실시예 5	Bal.	12.0	4.16	없음	25.2	0.32	○
비교예 2	Bal.	14.0	3.95	없음	25.5	0.57	○
비교예 3	Bal.	-	2.72	없음	2.9	1.17	×
비교예 4	Bal.	-	5.22	10.4	210.0	-	×
비교예 5	Bal.	-	3.44	없음	16.0	0.47	×

[0137] (적층조형용 구리합금 분말의 특성 평가)

[0138] 표 1에 따르면, 실시예 1 내지 5와 비교예 0, 1 및 2에 따른 적층조형용 구리합금 분말은 적층조형 장치에 의한 적층조형을 가능하게 하기 위한 상기 설명한 조건을 충족시켰다. 즉, 각 분말은 비록 분말의 유속(FR)은 측정할 수 없었으나(없음), (1) 분말 입자의 50% 입자 크기(표 1의 D50)와 (2) 분말의 겉보기 밀도(표 1의 AD)를 충족하였고, (3) 접착력도 충족하였고(실시예 1 내지 5 및 비교예 0, 1, 및 2) 스퀴징이 가능하였다. 반면, 어느 조건도 충족하지 않는 분말(비교예 3 내지 5)로는 스퀴징이 불가능하였다.

[0139] <적층조형된 제품의 제조>

[0140] 스퀴징이 가능한 실시예 1 내지 5 및 비교예 0, 1, 및 2의 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여, 3D 적층조형 장치(분말 소결 적층조형/SLM: SLM Solutions에서 구입 가능한 SLM280HL)를 사용하여 적층조형된 제품을 제조하

였다. 특성 측정을 위한 적층조형된 제품의 샘플로서, 폭 10㎛ × 깊이 7㎛ × 높이 5㎛의 직육면체 모양의 적층조형된 제품을 제조하였음을 주목하라.

[0141] 실시예 1 내지 5 및 비교예 0, 1 및 2의 구리합금 분말을 사용하여 적절한 에너지 밀도(J/㎣)를 사용하여 적층조형된 제품을 제조하였다. 표 2는 에너지 밀도(J/㎣)를 보여준다. 알루미늄 원소가 14.0중량% 첨가되고 적층조형 시 균열이 발생한 적층조형용 구리합금 분말에 대하여, 에너지 밀도(J/㎣)를 변화시켜 적층조형된 제품을 제조하였다(비교예 2-1 내지 2-21 참조).

표 2

[0142]

	조성		조형 조건					스퀴징 가능성	조형 효과
	원소 함량 (중량%)		LP	SS	HP	LT	ED		
	Cu	Al	(W)	(mm/s)	(mm)	(mm)	(J/㎣)		
비교예 0	Bal.	0.6	600	550	0.08	0.05	272.7	○	○
비교예 1	Bal.	1.3	600	650	0.08	0.05	230.8	○	○
실시예 1	Bal.	2.0	450	600	0.08	0.05	187.5	○	○
실시예 2	Bal.	5.0	400	900	0.08	0.05	111.1	○	○
실시예 3	Bal.	7.0	400	1250	0.09	0.06	59.3	○	○
실시예 4	Bal.	10.0	400	1250	0.09	0.06	59.3	○	○
실시예 5	Bal.	12.0	400	1250	0.06	0.04	133.3	○	○
비교예 2	Bal.	14.0	200 - 300	500 - 1500	0.08 - 0.15	0.03 - 0.06	34.9 - 113.6	○	×
비교예 2-1	Bal.	14.0	200	1100	0.08	0.03	75.8	○	×
비교예 2-2	Bal.	14.0	200	1200	0.08	0.03	69.4	○	×
비교예 2-3	Bal.	14.0	200	1300	0.08	0.03	64.1	○	×
비교예 2-4	Bal.	14.0	200	1400	0.08	0.03	59.5	○	×
비교예 2-5	Bal.	14.0	200	1500	0.08	0.03	55.6	○	×
비교예 2-6	Bal.	14.0	250	1100	0.08	0.03	94.7	○	×
비교예 2-7	Bal.	14.0	250	1200	0.08	0.03	86.8	○	×
비교예 2-8	Bal.	14.0	250	1300	0.08	0.03	80.1	○	×
비교예 2-9	Bal.	14.0	250	1400	0.08	0.03	74.4	○	×
비교예 2-10	Bal.	14.0	250	1500	0.08	0.03	69.4	○	×
비교예 2-11	Bal.	14.0	300	1100	0.08	0.03	113.6	○	×
비교예 2-12	Bal.	14.0	300	1200	0.08	0.03	104.2	○	×
비교예 2-13	Bal.	14.0	300	1300	0.08	0.03	96.2	○	×
비교예 2-14	Bal.	14.0	300	1400	0.08	0.03	89.3	○	×
비교예 2-15	Bal.	14.0	300	1500	0.08	0.03	83.3	○	×
비교예 2-16	Bal.	14.0	220	500	0.15	0.06	48.9	○	×
비교예 2-17	Bal.	14.0	220	700	0.15	0.06	34.9	○	×
비교예 2-18	Bal.	14.0	240	500	0.15	0.06	53.3	○	×

비교예 2-19	Bal.	14.0	240	700	0.15	0.06	38.1	○	×
비교예 2-20	Bal.	14.0	260	500	0.15	0.06	57.8	○	×
비교예 2-21	Bal.	14.0	260	700	0.15	0.06	41.3	○	×

[0143] 표 2의 비교예 2-1 내지 2-21에서 나타난 바와 같이, 알루미늄 원소를 14.0중량% 첨가한 적층조형용 각각의 구리합금 분말은 에너지 밀도를 변화시켜도 균열이 발생하였다.

[0144] (구리합금 적층조형된 제품의 특성 측정)

[0145] 광학현미경과 SEM(Scanning Electron Microscope)/EBSD(Electron Back Scatter Diffraction)법에 의해, 제조된 각각의 구리합금 적층조형된 제품의 단면 조직, BC(Band Contrast) 맵, 및 KAM(Kernel Average Misorientation) 맵을 획득하였다. 도 3은 EBSD에 의해 얻은, 알루미늄 원소를 7.0중량% 첨가한 구리합금 적층조형된 제품의 BC 맵(310) 및 KAM 맵(320)과, 알루미늄 원소를 10.0중량% 첨가한 구리합금 적층조형된 제품의 광학 현미경 사진(330)을 나타낸다.

[0146] 또한, 제조된 각각의 구리합금 적층조형된 제품의 특성은 표 3에 나타낸 시험장치에 의해 측정하였다.

표 3

[0147]

시험 항목	제조사	장치	모델	조건	
전기 전도도	니혼마테크 주식회사	시그마체크2		표준 연성 어닐된 구리의 전기 전도도를 100%IACS로 정의한 전기 전도도	
비커스 경도	시마즈 주식회사	미세경도 시험기	HMV-G21-DT	시험력: HV0.025(245.2mN)유지시간: 10초	
공칭응력	오리엔텍 주식회사	만능 재료 시험기	UCT-25T	시험편 형상 : JIS14A 직경 : f6mm 게이지 길이: 50mm 시험 속도: 10mm/min → 파단까지 공칭응력 계산: $P(N)/A(mm^2)$ P: 파단하중(N), A: $\pi D^2/4(mm^2)$	시험편 크기 L: 30mm P: 50 R: 15 D: 6
연신율					
내력					
마모량	브루커	다기능 마모시험기	UMT Tribo Lab	시험 방법 : 디스크상의 볼법(건식) 시험 오일: 없음 볼 소재 : SUJ2(고탄소 크롬 베어링 강) 회전 속도: 200 rpm 가압 하중: 10 N 운전시간 : 30분 분위기: 대기 공기	
템퍼링	고요써모 시스템 주식회사	분위기튜브로	ICTF045N-AS	온도: 500℃ 시간 : 60분 대기: 수소	

[0148] 공칭응력, 연신율, 및 내력의 측정에 있어서 시험편의 크기를 400으로 한 것을 도 4에 나타냈음을 주목하라.

[0149] 표 3에 나타낸 시험장치를 이용하여 측정한 구리합금 적층조형된 제품의 특성이 표 4에 나타나 있다.

표 4

[0150]

	조성		스퀴징 가능성	생산방법	적층조형된 제품의 특성						
	원소 함량(중량%)				상대 밀도 %	비커스 경도 Hv	최대응력 MPa	연신율 %	내력 MPa	마모량 g	전기 전도도 %IACS
	Cu	Al									
비교예 0	Bal.	0.6	○	AM	99.6	84.8	233.83	46.8%	153.80	0.0189	49.7%
비교예 1	Bal.	1.3	○	AM	99.8	83.3	254.39	42.4%	150.39	0.0415	34.7%
실시예 1	Bal.	2.0	○	AM	99.9	94.9	270.02	40.4%	167.22	0.0135	27.8%
실시예 2	Bal.	5.0	○	AM	99.9	136.2	413.71	57.0%	179.48	0.0121	18.0%
실시예 3	Bal.	7.0	○	AM	99.7	164.2	501.33	49.0%	239.25	0.0095	16.2%
실시예 4	Bal.	10.0	○	AM	99.9	342.9	894.98	10.8%	188.70	0.0031	12.5%
실시예 5	Bal.	12.0	○	AM	99.8	241.7	690.53	13.5%	201.70	0.0028	20.8%
비교예 2	Bal.	14.0	○	성형시 균열이 생겨 성형이 불가능함							

[0151] (구리합금 적층조형된 제품의 특성 평가)

[0152] 도 3에 표시된 BC 맵(310) 및 KAM 맵(320)에서 알 수 있듯이, 약 1㎛ 이하의 폭을 갖는 매우 미세한 기둥형 결정이 적층 방향으로 성장하고, 높은 변형 영역이 결정을 따라 분포된다. 이러한 미세 조직과 변형의 생성은 적층조형법에서 발생하는 빠른 냉각 응고 과정에서 비롯된 것으로 여겨진다. 이는 특히 알루미늄 원소를 7.0중량% 첨가하여 제조한 제품의 내력이 증가하는 데 기여하는 것으로 추정된다.

[0153] 반면, 알루미늄 원소를 10.0중량% 첨가하여 제조한 적층조형된 제품은 매우 큰 가공경화를 나타내었으며, 공칭응력 역시 매우 높은 값을 나타내었다. 반대로 내력은 크게 증가하지 않았다. 광학 현미경 사진(330)에 기초한 구조 관찰과 XRD 분석 결과에서 알 수 있듯이, 구리합금 적층조형된 제품은 판 모양의 β'-마르텐사이트 조직을 보여준다. 적층가공 시 급속 고체화 과정에 기인한 마르텐사이트 변태(martensitic transformation)로 인해 큰 가공경화나 공칭응력에 비해 내력이 상승하지 않는 것으로 생각된다.

[0154] 또한, 도 5는 실시예 1 내지 5 및 비교예 0 및 1 각각에서 얻어진 표 4에 나타낸 특성 측정 결과에 기초한 구리합금 적층조형된 제품의 공칭응력 및 내력과 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량 간의 관계를 보여주는 그래프이다. 도 6은 실시예 1 내지 5와 비교예 0 및 1에서 각각 얻은 표 4에 나타낸 특성 측정 결과에 기초한, 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 구리합금 적층조형된 제품의 마모량 사이의 관계를 보여주는 그래프이다.

[0155] 표 4에 나타낸 구리합금 적층조형된 제품의 특성 측정 결과와 도 5 및 도 6의 그래프에서 알 수 있듯이, 알루미늄 원소를 1.3중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하는 적층조형용 구리합금 분말로 적층조형된 구리합금 적층조형된 제품의 기계적 강도는 매우 높다. 즉, 비커스 경도가 90.0Hv 이상, 공칭응력(최대 응력)가 260MPa 이상, 내력이 160MPa 이상, 및 마모량이 0.02g 이하를 충족하는 구리합금 적층조형된 제품을 적층조형할 수 있다.

[0156] 알루미늄 함량의 상한값인 12.5중량%은 다음과 같은 방법으로 계산되었음을 주목하라. 도 7은 Cu-Al 합금의 급속 냉각상 다이어그램과 역치 계산을 보여준다. 표 4에서 보인 바와 같이, 알루미늄 원소 함량이 12.0중량%가 될 때까지 적층조형이 가능하였다. 알루미늄 원소의 함량이 14.0중량%일 경우, 적층조형시 균열이 발생하여 적층조형가 불가능하였다. 여기서, 도 7에 나타낸 Cu-Al 합금의 급속냉각 상 다이어그램(710)에서 실선은 평형상태도를 나타낸다. 냉각 과정에 급속 냉각이 포함되는 경우, 파선으로 표시된 상 다이어그램이 얻어진다. 적층조형은 냉각 과정에서 빠른 냉각을 포함하므로, 파선으로 표시된 상 다이어그램의 구성 상이 얻어진다. 도 7에 도시된 역치 계산을 나타낸 도면(720)을 참조하면, 급속 냉각상 다이어그램(710)을 기반으로 알루미늄 원소 함량이 12.5중량% 이하이면 β1'-상으로 적층조형된 제품이 형성된다. 그러나 알루미늄 원소의 함량이 12.5중량%를 초과하면 γ'-상이 석출되기 시작한다. 알루미늄 원소 함량이 14.0중량%이면, 실질적으로 γ'-단상이 얻어진다. 이러한 이유로, 적층조형 시 균열은 γ'-상이 석출되어 발생하는 것으로 추정되며, 알루미늄 원소 함량이 γ'-상이 석출되지 않는 12.5중량% 이하의 범위 내에 있으면 균열이 발생하지 않고 적층조형이 가능할 것으로 추정된다.

[0157] 알루미늄 원소 함량이 1.3중량%인 경우의 결과와 알루미늄 원소 함량이 2.0중량%인 경우의 결과를 기초로 비례계산을 수행하면, 알루미늄 원소 함량이 1.7중량% 이상인 경우 비커스 경도가 90.0Hv 이상, 공칭응력(최대 응력)이 260MPa 이상, 내력이 160MPa 이상, 및 마모량이 0.02g 이하를 충족하는 구리합금 적층조형된 제품을 적층조형할 수 있다고 추정된다.

[0158] 표 4에 나타낸 구리합금 적층조형된 제품의 특성 측정 결과와 도 5 및 도 6의 그래프에서 알 수 있듯이, 알루미늄 원소를 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하 함유하는 적층조형용 구리합금 분말로 첨가 제조한 구리합금 적층조형된 제품의 기계적 강도가 더 높다. 즉, 비커스 경도가 150.0Hv 이상, 공칭응력(최대 응력)이 500MPa 이상, 내력이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하인 구리합금 적층조형된 제품을 적층조형할 수 있다.

[0159] 표 5는 실시예 1 내지 5를 기초로 설정된 구리합금 적층조형된 제품의 기계적 강도를 평가하기 위한 역치의 세트를 나타낸다. 참고로, "≥수치"는 "그 수치 이상"을 의미하고, "수치≥"는 "그 수치 이하"를 의미함을 주목하라.

표 5

[0160]

	비커스 경도(Hv)	공칭응력(MPa)	내력(MPa)	마모량(g)
제1 역치 설정	≥ 90.0	≥ 260	≥ 160	0.02 ≥
제2 역치 설정	≥ 150.0	≥ 500	≥ 180	0.01 ≥

[0161] <구리합금 적층조형된 제품의 템퍼링 처리>

[0162] 알루미늄 원소를 10.0 wt% 첨가하여 적층조형한 제품은 매우 큰 가공 경화도를 나타냈으며, 그 공칭응력 역시 매우 높은 값을 나타냈다. 반대로 내력은 크게 증가하지 않았다. 이는 적층조형된 제품이 판 모양의 β'-마르텐사이트 조직을 나타내며, 적층조형 시 급속한 냉각 응고 과정에 의해 마르텐사이트 변태가 발생하기 때문으로 생각된다. 따라서, 제2의 예시적 구체예에 따르면, 400℃, 500℃, 및 600℃에서 각각 1시간 동안 템퍼링을 실시한 후, 기계적 강도와 관련된 특성을 측정하였다.

[0163] 알루미늄 원소를 10.0중량% 및 12.0중량% 첨가하여 제조한 적층조형된 제품에 대하여 템퍼링 처리를 실시한 후의 기계적 강도에 따른 특성을 측정한 결과를 표 6에 나타내었다.

표 6

[0164]

	조성		열처리 없음			템퍼링(400℃ × 60분)			템퍼링(500℃ × 60분)			템퍼링(600℃ × 60분)		
	원소 함량 (중량%)		최대 응력 MPa	내력 MPa	마모량 g	최대 응력 MPa	내력 MPa	마모량 g	최대 응력 MPa	내력 MPa	마모량 g	최대 응력 MPa	내력 MPa	마모량 g
	Cu	Al												
실시예 4	Bal	10.0	894.98	188.70	0.0031	757.38	206.80	0.0031	661.44	253.60	0.0028	591.90	233.16	0.0028
실시예 5	Bal	12.0	690.53	201.70	0.0028	659.38	198.70	0.0019	782.11	243.23	0.0035	681.88	275.76	0.0016

[0165] 도 8은 템퍼링 온도에 따른 공칭응력 및 내력 측정결과의 그래프이다.

[0166] (템퍼링 처리의 평가)

[0167] 구리합금 적층조형된 제품을 β-공석 분해온도보다 약간 낮은 온도에서 템퍼링하였을 경우, 공칭응력은 온도 증가에 따라 낮아지나 500MPa 이상(약 600MPa)을 유지하였으며, 내력은 증가하였다. 이 결과는 구리합금 적층조형된 제품의 조직이 미세하다는 것을 시사한다.

[0168] 도 9는 Cu-Al 합금의 평형 상 다이어그램을 나타낸다. 도 9의 평형 상 다이어그램에서 알루미늄 원소 함량이 9.0중량% 이하일 경우 α-상 단일상 조직이 나타난다. 알루미늄 원소 함량이 9.4 내지 15.6중량%일 경우 (a+γ2)로 형성된 공석상이 나타난다. (a+γ2)영역에서는 고온안정상인 β-상이 급냉되고 그에 의해 알루미늄 원소 함량이 10.0중량%일 때 β'-상, 알루미늄 원소 함량이 12.0중량%일 때 β1'-상을 나타낸다. β'-상과 β1'-상은 모두 마르텐사이트 조직임에 주의하라.

[0169] 상기한 바와 같이 마르텐사이트 변태시에는 가동전위가 많이 도입되므로 낮은 응력수준에서 움직임이 시작되고 움직인 전위의 수에 따른 소성변형이 발생한다.

[0170] 그 결과, 내력이 감소하고 가동 전위의 움직임이 반영된다. 알루미늄 원소를 10.0중량% 함유한 구리합금 적층조형된 제품을 템퍼링 처리한 경우, 구리합금 적층조형된 제품 내의 가동전위가 감소하여 내력이 증가하였다. 이러한 사실로부터 동일한 마르텐사이트 조직을 나타내는 알루미늄 원소 함량이 12.0중량%이더라도 동일한 효과를 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

[0171] 제3 예시적 구체예에 따른 실시예 6 내지 8 및 비교예 6을 이하에 설명한다.

[0172] <적층조형용 구리합금 분말의 제조>

[0173] 알루미늄 원소, 철 원소, 니켈 원소, 및 망간 원소를 첨가한 구리합금 분말을 가스 분무법에 의해 제조하였다. 헬륨, 아르곤, 또는 질소를 분무가스로 사용하고, 가스의 압력과 유속을 조절하고 그에 따라 알루미늄 원소, 철 원소, 니켈 원소, 및 망간 원소를 첨가한 구리합금 분말을 제조하였다.

[0174] 첨가 후 알루미늄 원소의 함량을 8.5중량%, 철 원소의 함량을 3.0중량%, 니켈 원소의 함량을 0.5중량%, 및 망간 원소의 함량을 0.1중량%로 변화시키고(실시예 6), 알루미늄 원소의 함량을 10.5중량%, 철 원소의 함량을 3.1중량%, 니켈 원소의 함량을 2.0중량%, 및 망간 원소의 함량을 1.1중량%로 변화시키고(실시예 7), 알루미늄 원소의 함량을 10.0중량%, 철 원소의 함량을 5.0중량%, 니켈 원소의 함량을 5.0중량%, 및 망간 원소의 함량을 0.7중량%로 변화시키고(실시예 8), 알루미늄 원소의 함량을 9.0중량%, 철 원소의 함량을 3.5중량%, 니켈 원소를 2.5중량%, 및 망간 원소의 함량을 11.0중량%로 증가(비교예 6)시켜서 구리합금 분말을 제조하였다.

[0175] (적층조형용 구리합금 분말의 특성 측정)

[0176] ICP 원자 방출 분광법에 의해 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따른 구리합금 분말의 각 원소의 함량을 측정하였다. 또한, 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따른 구리합금 분말 각각의 겉보기 밀도(g/cm^3)는 JIS Z 2504에 따라 측정하였다. 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따른 구리합금 분말 각각의 유속(초/50g)은 JIS Z 2502에 따라 측정하였다. 50% 입자 크기(μm)는 레이저 회절법(Microtrac MT3300: MicrotracBEL에서 구입 가능)으로 측정하였다. 표 7은 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따라 제조된 구리합금 분말의 특성을 보여준다. Powder Rheometer FT4(Freeman Technology에서 구입 가능)를 사용하여 전단 시험을 실시하였고, 얻어진 각각의 구리합금 분말의 접착력(kPa)을 측정하였다. 또한 금속 블록의 한 면에 틈새를 형성하도록 가공하여 형성된 지그로, 미리 정해진 필름 두께로 페인트나 잉크를 도포할 수 있는 지그인 닥터 블레이드 또는 어플리케이터라고 불리는 지그를 사용하여 각 분말이 스퀴징이 가능한 구리합금 분말인지도 확인했다.

[0177] 표 7은 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에서 제조된 구리합금 분말의 특성을 나타낸 것이다.

표 7

[0178]

	조성					분말의 특성				스퀴징 가능성
	원소 함량(중량%)					AD	FR	D50	접착력	
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	(g/cm^3)	(초/50g)	(μm)	(kPa)	○
실시예 6	Bal.	8.5	3.0	0.5	0.1	4.28	없음	28.8	0.45	○
실시예 7	Bal.	10.5	3.1	2.0	1.1	4.34	없음	25.6	0.37	○
실시예 8	Bal.	10.0	5.0	5.0	0.7	4.15	없음	28.6	0.54	○
비교예 6	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	4.22	없음	27.7	0.29	○

[0179] (적층조형용 구리합금 분말의 특성 평가)

[0180] 표 7에 따르면, 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따른 적층조형용 구리합금 분말은 적층조형 장치에 의한 적층조형을 가능하게 하기 위한 상기 설명한 조건을 충족시켰다. 즉, 비록 분말의 유속(FR)은 측정할 수 없었으나(없음), 각 분말은 (1) 분말 입자의 50% 입자 크기(표 7의 D50)와 (2) 분말의 겉보기 밀도(표 7의 AD)를 충족하였고, (3) 접착력을 충족하였으며(실시예 6 내지 8 및 비교예 6), 스퀴징이 가능하였다.

[0181] 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따라 제조된 구리합금 분말의 각 원소의 함량에 있어서는, 표 8에 나타낸 기존 구리합금 주물의 원소 함량을 중심으로 중량%를 설정하여 각 원소의 적정 중량%를 검토하였다.

표 8

[0182]

	대응 구리 및 구리합금 주물(JIS H5120:2016)		Cu	Al	Fe	Ni	Mn	기타
실시예 6	CAC 701	알루미늄 청동 주물 1형	85.0 - 90.0	8.0 - 10.0	1.0 - 4.0	0.1 - 1.0	0.1 - 1.0	0.7 이하
실시예 7	CAC 702	알루미늄 청동 주물 2형	80.0 - 88.0	8.0 - 10.5	2.5 - 5.0	1.0 - 3.0	0.1 - 1.5	0.7 이하
실시예 8	CAC 703	알루미늄 청동 주물 3형	78.0 - 85.0	8.5 - 10.5	3.0 - 6.0	3.0 - 6.0	0.1 - 1.5	0.7 이하
비교예 6	CAC 704	알루미늄 청동 주물 4형	71.0 - 84.0	6.0 - 9.0	2.0 - 5.0	1.0 - 4.0	7.0 - 15.0	0.7 이하

[0183] <적층조형된 제품의 제조>

[0184] 스퀴징이 가능한 실시예 6 내지 8 및 비교예 6 각각의 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여, 3D 적층조형 장치(분말 소결 적층조형/SLM: SLM Solutions에서 구입 가능한 SLM280HL)를 사용하여 적층조형된 제품을 제조하였다. 특성 측정을 위한 적층조형된 제품의 샘플로서, 폭 10㎜ × 깊이 7㎜ × 높이 5㎜의 직육면체 모양의 적층조형된 제품을 제조하였다.

[0185] 실시예 6 내지 8 및 비교예 6 각각의 구리합금 분말을 사용하여 적절한 에너지 밀도(J/㎣)를 사용하여 적층조형된 제품을 제조하였다. 표 9는 에너지 밀도(J/㎣)를 보여준다. 알루미늄 원소를 9.0중량%, 철 원소를 3.5중량%, 니켈 원소를 2.5중량%, 및 망간 원소를 11.0중량% 첨가하여 적층조형 시 균열이 발생한 적층조형용 구리합금 분말에 대하여, 에너지 밀도(J/㎣)를 변화시키면서 적층조형된 제품을 제조하였다(비교예 6-1 내지 6-30 참조).

표 9

[0186]

	조성					조형 조건					스퀴징 가능성	조형 효과
	원소 함량(중량%)					LP	SS	HP	LT	ED		
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	(W)	(㎜/s)	(㎜)	(㎜)	(J/㎣)		
실시예 6	Bal.	8.5	3.0	0.5	0.1	300	1100	0.09	0.03	101.0	○	○
실시예 7	Bal.	10.5	3.1	2.0	1.1	250	1600	0.09	0.03	57.9	○	○
실시예 8	Bal.	10.0	5.0	5.0	0.7	300	1200	0.09	0.03	92.6	○	○
비교예 6	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175 - 275	1000 - 1750	0.09	0.03	37.0 - 101.9	○	×
비교예 6-1	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1000	0.09	0.03	64.8	○	×
비교예 6-2	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1500	0.09	0.03	43.2	○	×
비교예 6-3	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1300	0.09	0.03	49.9	○	×
비교예 6-4	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1450	0.09	0.03	44.7	○	×
비교예 6-5	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1600	0.09	0.03	40.5	○	×
비교예 6-6	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	175	1750	0.09	0.03	37.0	○	×
비교예 6-7	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1000	0.09	0.03	74.1	○	×
비교예 6-8	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1500	0.09	0.03	49.4	○	×
비교예 6-9	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1300	0.09	0.03	57.0	○	×

비교예 6-10	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1450	0.09	0.03	51.1	○	×
비교예 6-11	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1600	0.09	0.03	46.3	○	×
비교예 6-12	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	200	1750	0.09	0.03	42.3	○	×
비교예 6-13	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	225	1000	0.09	0.03	83.3	○	×
비교예 6-14	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	225	1500	0.09	0.03	55.6	○	×
비교예 6-15	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	225	1300	0.09	0.03	64.1	○	×
비교예 6-16	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	25	1450	0.09	0.03	57.5	○	×
비교예 6-17	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	225	1600	0.09	0.03	52.1	○	×
비교예 6-18	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	225	1750	0.09	0.03	47.6	○	×
비교예 6-19	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1000	0.09	0.03	92.6	○	×
비교예 6-20	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1500	0.09	0.03	61.7	○	×
비교예 6-21	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1300	0.09	0.03	71.2	○	×
비교예 6-22	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1450	0.09	0.03	63.9	○	×
비교예 6-23	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1600	0.09	0.03	57.9	○	×
비교예 6-24	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	250	1750	0.09	0.03	52.9	○	×
비교예 6-25	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1000	0.09	0.03	101.9	○	×
비교예 6-26	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1500	0.09	0.03	67.9	○	×
비교예 6-27	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1300	0.09	0.03	78.3	○	×
비교예 6-28	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1450	0.09	0.03	70.2	○	×
비교예 6-29	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1600	0.09	0.03	63.7	○	×
비교예 6-30	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0	275	1750	0.09	0.03	58.2	○	×

[0187] 표 9의 비교예 6-1 내지 6-30에서 나타난 바와 같이, 알루미늄 원소 9.0중량%, 철 원소 3.5중량%, 니켈 원소 2.5중량%, 및 망간 원소 11.0중량%를 첨가한 적층조형용 구리합금 분말 각각에서는 에너지 밀도를 변화시키더라도 균열이 발생하였다.

[0188] 실시예 6 내지 8 및 비교예 6에 따른 구리합금 분말을 이용하여 제조된 구리합금 적층조형된 제품의 특성을 표 10에 나타내었는 바, 이는 표 3에 나타낸 시험장치를 이용하여 측정한 것이다.

표 10

	구성						스퀴징 가능성	생산방법	적층조형된 제품의 특성						
	원소 함량(중량%)								상대 밀도 %	비커스 경도 Hv	최대응력 MPa	연신율 %	내력 MPa	마모량 g	전기 전도도 %IACS
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn										
실시예 6	Bal.	8.5	3.0	0.5	0.1		○	AM	99.9	204.8	650.01	40%	358.70	0.0049	7.1%
실시예 7	Bal.	10.5	3.1	2.0	1.1		○	AM	99.9	313.5	601.87	13.5%	225.70	0.0034	6.2%
실시예 8	Bal.	10.0	5.0	5.0	0.7		○	AM	99.8	444.9	1077.02	12.5%	220.80	0.0029	4.1%
비교예 6	Bal.	9.0	3.5	2.5	11.0		○	AM	조형시 균열이 생겨 조형이 불가능함						

[0189]

[0190] 실시예 6 내지 8 각각에서 얻은 표 10에 나타난 특성 측정 결과를 기초로, 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 구리합금 적층조형된 제품의 공칭응력 및 내력의 관계를 도 5에 추가하였다. 실시예 6 내지 8에서 얻어진 표 10에 나타난 특성 측정 결과를 기초로, 적층조형용 구리합금 분말의 알루미늄 함량과 적층조형된 구리합금 제품의 마모량 간의 관계를 도 6에 추가하였다.

[0191] 표 10에 나타낸 구리합금 적층조형된 제품의 특성 측정 결과와 도 5 및 도 6의 그래프에서 알 수 있듯이, 알루미늄 원소 7.0중량% 이상 12.5중량% 이하, 철 원소 1.0중량% 이상 6.0중량% 이하, 니켈 원소 0.1중량% 이상 6.0중량% 이하, 및 망간 원소 0.1중량% 이상 1.5중량% 이하를 함유하는 적층조형용 구리합금 분말을 사용하여 첨가제조한 구리합금 적층조형된 제품의 기계적 강도는 매우 높다. 즉, 비커스 경도가 150.0Hv 이상, 공칭응력(최대 응력)가 500MPa 이상, 내력이 180MPa 이상, 및 마모량이 0.01g 이하를 충족하는 구리합금 적층조형된 제품을

적층조형할 수 있다.

[0192] 나아가, 철원소, 니켈원소, 및 망간원소를 첨가함으로써 내식성이 향상될 것으로 기대된다. 실시예 6의 경우, 알루미늄 함량이 낮아도 공칭응력(최대 응력)와 내력이 증가하며, 연신이 얻어진다. 예를 들어, 알루미늄 함량이 10중량%인 실시예 4와 비교하였을 때, 알루미늄 함량이 거의 동일한 실시예 7 및 8은 강도를 저하시키지 않고도 연신율을 향상시킬 수 있다.

[0193] 따라서 실시예 1 내지 8에 따르면, 우수한 기계적 강도를 구현할 수 있는 적층조형용 구리합금 분말 및 우수한 기계적 강도를 갖는 구리합금 적층조형된 제품을 제공할 수 있음을 확인하였다. 또한, 템퍼링 처리를 실시하는 것은 강도 향상 등 특성을 향상시키는 데 유리하여 제조 방법으로서도 우수성이 있다고 여겨진다.

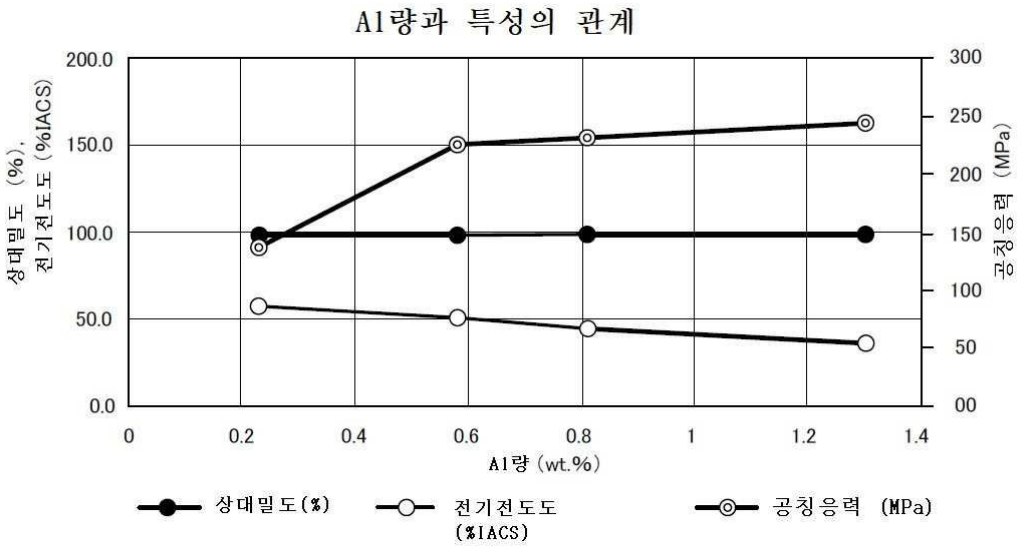
[0194] (본 발명의 적용 분야)

[0195] 본 발명에 따른 구리합금 적층조형된 제품은 베어링, 피스톤, 선박용 프로펠러, 및 펌프 등 특히 큰 기계적 강도(비커스 경도, 공칭응력, 내력, 마모량 등)가 필요한 부품에 적절하게 사용될 수 있다.

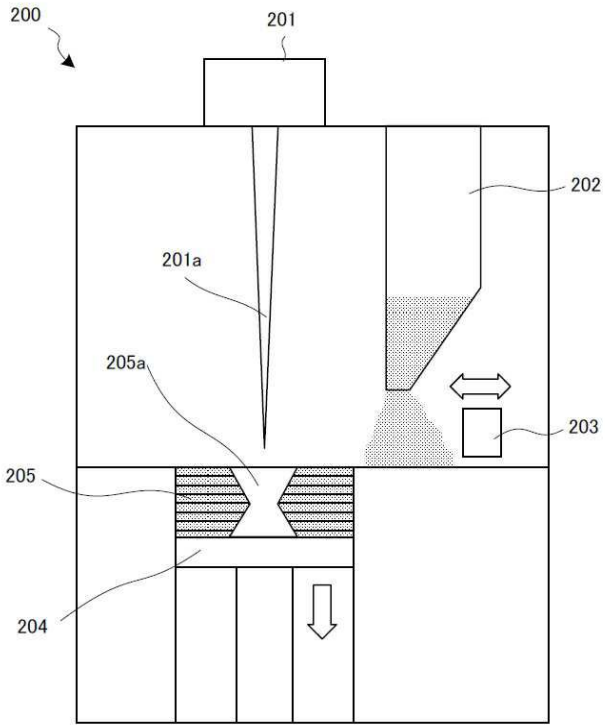
[0196] 본 출원은 2022년 5월 9일에 출원된 일본 특허 출원 제2022-077233호를 기초로 하며 이에 대해 우선권 혜택을 주장하고, 그 내용은 본원에 참조로 전체적으로 통합되어 있다.

도면

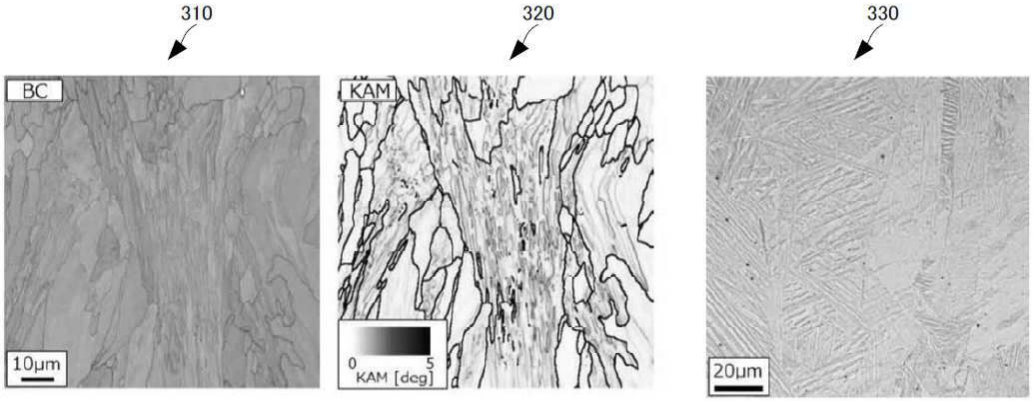
도면1



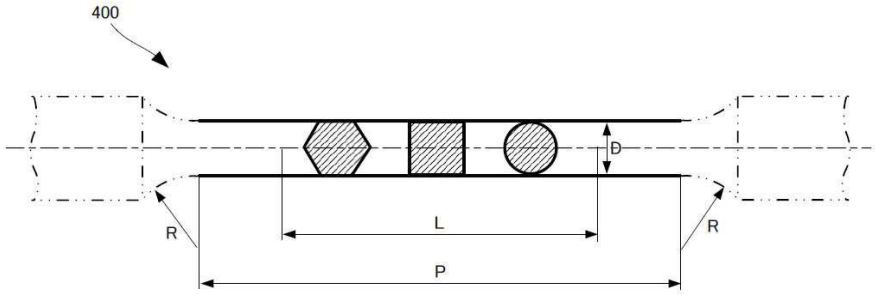
도면2


200
201
202
201a
205a
203
205
204

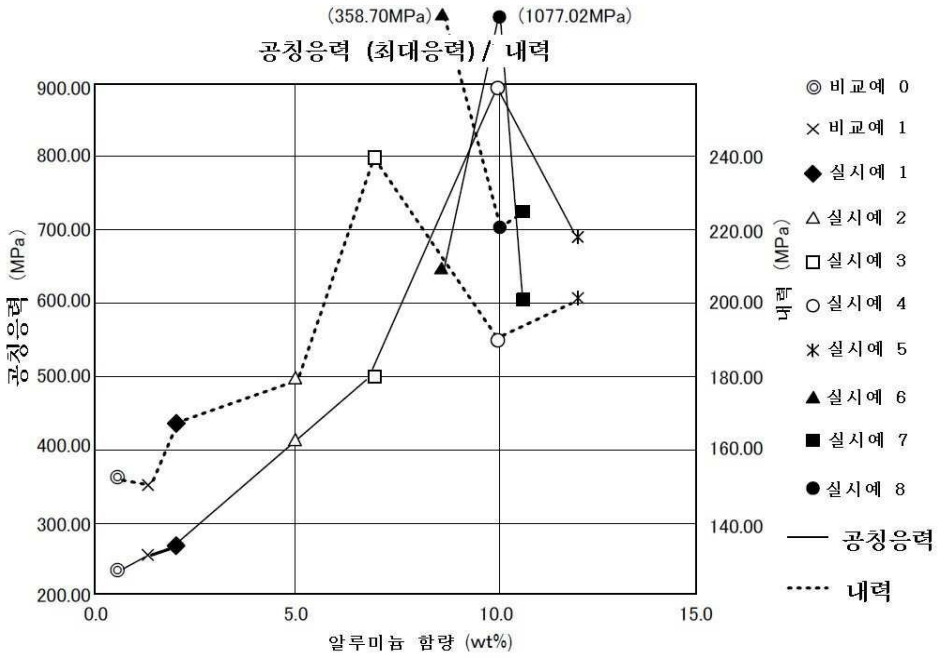
도면3


310
320
330
BC
KAM
10μm
0
5
KAM [deg]
20μm

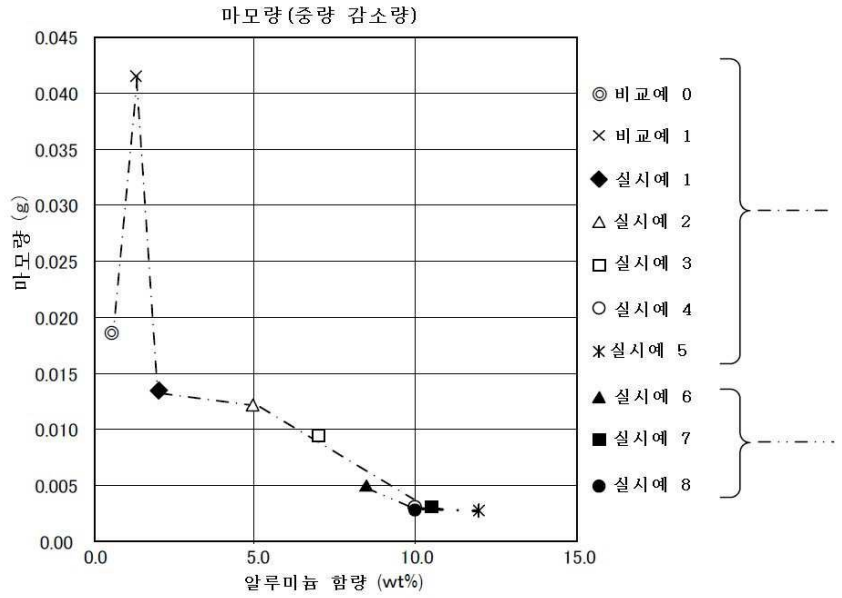
도면4


400
D
L
R
R
P

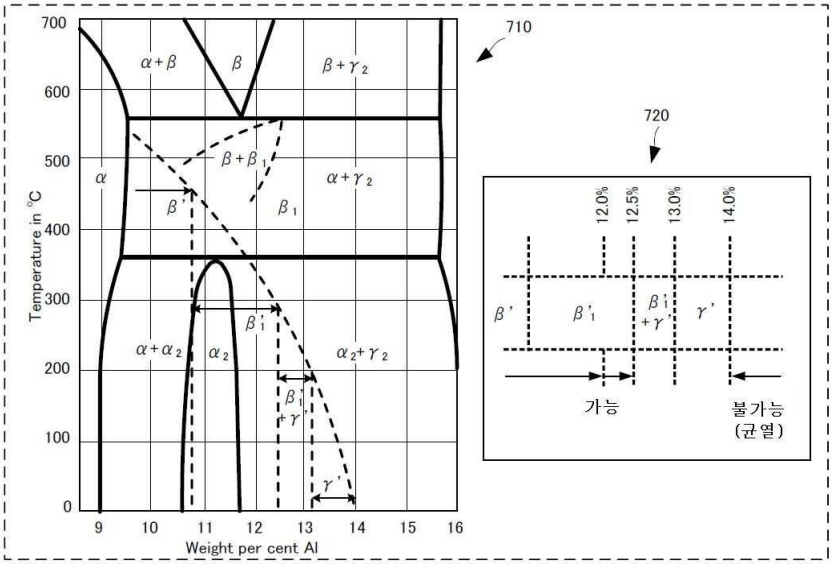
도면5


(358.70MPa)
(1077.02MPa)
공칭응력 (최대응력) / 내력
900.00
800.00
700.00
600.00
500.00
400.00
300.00
200.00
공칭응력 (MPa)
240.00
220.00
200.00
180.00
160.00
140.00
내력 (MPa)
0.0
5.0
10.0
15.0
알루미늄 함량 (wt%)
◎ 비교예 0
× 비교예 1
◆ 실시예 1
△ 실시예 2
□ 실시예 3
○ 실시예 4
✳ 실시예 5
▲ 실시예 6
■ 실시예 7
● 실시예 8
공칭응력
내력

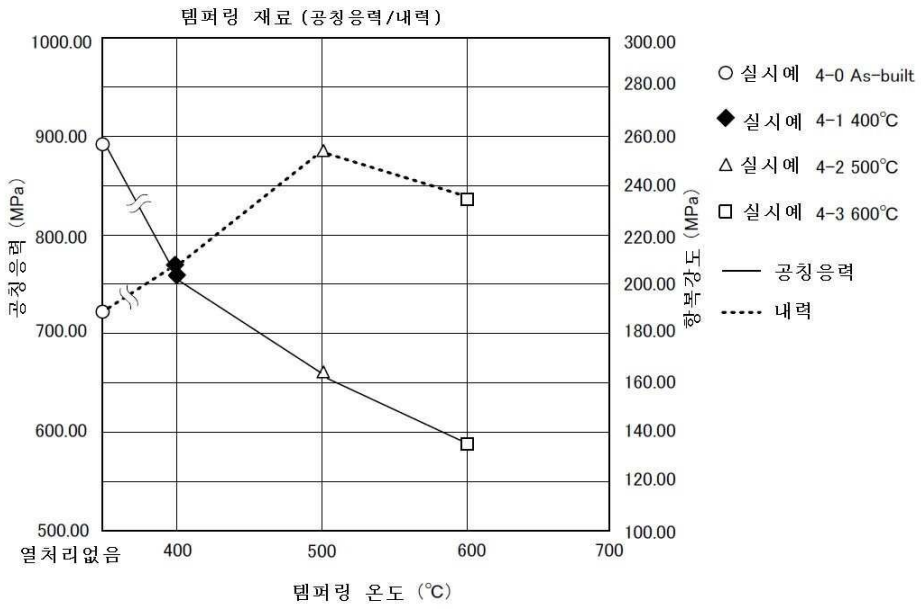
도면6


마모량 (중량 감소량)
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.00
마모량 (g)
0.0
5.0
10.0
15.0
알루미늄 함량 (wt%)
◎ 비교예 0
× 비교예 1
◆ 실시예 1
△ 실시예 2
□ 실시예 3
○ 실시예 4
✳ 실시예 5
▲ 실시예 6
■ 실시예 7
● 실시예 8

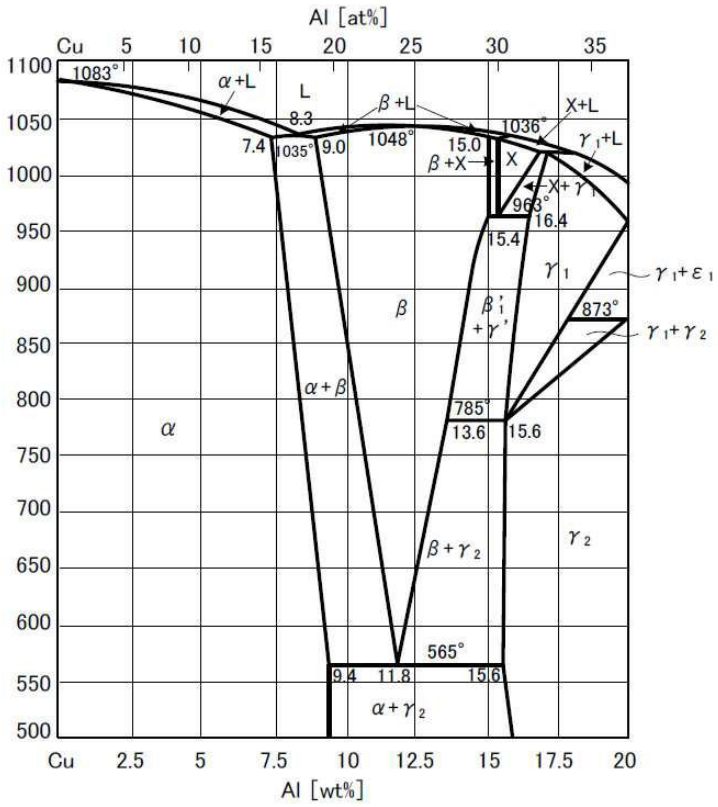
도면7


710
720
Temperature in °C
Weight per cent Al
α+β
β
β+γ2
α
β+β1
α+γ2
β'
β1
α+α2
α2
α2+γ2
β1+γ'
γ'
12.0%
12.5%
13.0%
14.0%
β'
β'1
β1+γ'
γ'
가능
불가능
(균열)

도면8


템퍼링 재료 (공칭응력/내력)
공칭응력 (MPa)
항복강도 (MPa)
템퍼링 온도 (℃)
열처리없음
○ 실시예 4-0 As-built
◆ 실시예 4-1 400℃
△ 실시예 4-2 500℃
□ 실시예 4-3 600℃
공칭응력
내력

도면9


Al [at%]
Cu 5 10 15 20 25 30 35
1100 1050 1000 950 900 850 800 750 700 650 600 550 500
1083°
α+L
L
8.3
7.4
1035°
9.0
β+L
1048°
15.0
β+X
1036°
X+L
X
γ1+L
X+γ1
963°
16.4
15.4
γ1
γ1+ε1
β
β'1+γ'
873°
γ1+γ2
α+β
785°
13.6
15.6
α
β+γ2
γ2
565°
9.4
11.8
15.6
α+γ2
Cu 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20
Al [wt%]