(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년07월18일
(11) 등록번호 10-2556439
(24) 등록일자 2023년07월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 1/17 (2022.01) *B22F 10/20* (2021.01)
B22F 3/26 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B33Y 80/00 (2015.01) *C22C 1/04* (2023.01)
C22C 25/00 (2006.01) *C22F 1/16* (2006.01)
C23C 18/32 (2006.01) *C25D 11/34* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 1/17 (2022.01)
B22F 10/20 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2022-7030191(분할)
(22) 출원일자(국제) 2015년12월10일
심사청구일자 2022년08월31일
(85) 번역문제출일자 2022년08월31일
(65) 공개번호 10-2022-0125814
(43) 공개일자 2022년09월14일
(62) 원출원 특허 10-2017-7019205
원출원일자(국제) 2015년12월10일
심사청구일자 2020년11월19일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/065069
(87) 국제공개번호 WO 2016/094704
국제공개일자 2016년06월16일
(30) 우선권주장
62/091,060 2014년12월12일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100061655 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 19 항

(73) 특허권자
마테리온 코포레이션
미국, 오하이오 44124, 메이필드 하이츠, 파크랜드 블라버드 6070
(72) 발명자
율코, 제임스 앤드류
미국, 오하이오 44124, 메이필드 하이츠, 파크랜드 블라버드 6070
(74) 대리인
청운특허법인

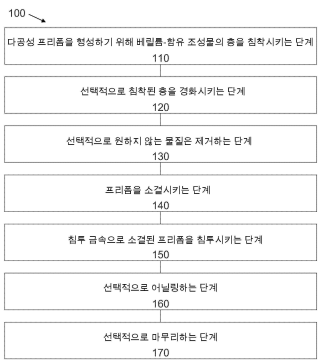
심사관 : 이상호

(54) 발명의 명칭 **베릴륨을 포함하는 제품의 적층 가공**

(57) 요 약

제품의 제조방법은, 3-차원 프리폼을 형성하기 위해 복수의 층을 침착하는 단계, 상기 프리폼을 소결하여 소결된 프리폼을 형성하는, 소결 단계, 및 상기 프리폼을 적어도 하나의 금속으로 침투시켜 제품을 형성하는, 침투 단계를 포함한다. 상기 복수의 층 중 적어도 하나의 층은, 베릴륨 분말을 포함하는 베릴륨-함유 조성물로부터 형성된다. 상기 침투 금속은 알루미늄 및 마그네슘으로부터 선택될 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B22F 3/26 (2013.01)
B33Y 10/00 (2013.01)
B33Y 80/00 (2013.01)
C22C 1/0408 (2023.01)
C22C 25/00 (2013.01)
C22F 1/16 (2013.01)
C23C 18/32 (2013.01)
C25D 11/34 (2013.01)
B22F 2301/05 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
US20060045787 A1*
JP11515058 A
JP2010536694 A
US04554218 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명 세 서

청구범위

청구항 1

베릴륨-함유 조성물로서,

복수의 베릴륨-함유 침착 층 및 복수의 소결된 프리폼 빈공간(voids)을 포함하는 미세구조를 갖는 3-차원 다공성 베릴륨-함유 소결된 프리폼,

상기 복수의 소결된 프리폼 빈공간 내에 배치되는 침투 금속 매트릭스, 및

선택적으로, 알루미늄, 카드뮴, 니켈, 또는 이들의 조합의 보호 코팅으로 이루어지는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

3-차원 다공성 베릴륨-함유 소결된 프리폼은 베릴륨; 및 니켈, 알루미늄, 이들의 합금, 또는 이들의 조합 중 적어도 하나를 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

소결된 프리폼은 0 내지 8 wt%의 니켈을 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

소결된 프리폼은

35 wt% 내지 65 wt%의 베릴륨 및 35 wt% 내지 65 wt%의 알루미늄을 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

침투 금속 매트릭스는 베릴륨, 알루미늄, 마그네슘, 리튬, 이들의 합금, 또는 이들의 조합을 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

침투 금속 매트릭스는 알루미늄인, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

침투 금속 매트릭스는 마그네슘인, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

조성물은 Al-Be, Mg-Be, Al-Mg-Be, Al-Be-Ni, Al-Mg-Be-Ni의 조성물 또는 이들의 조합을 갖는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

조성물은 0 내지 5 wt%의 니켈, 58 내지 65 wt%의 베릴륨, 및 30 내지 42 wt%의 알루미늄을 갖는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 10

삭제

청구항 11

청구항 1에 있어서,

조성물은 약 1.5 g/cc 내지 약 2.5 g/cc의 밀도를 보여주는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

조성물은 25℃에서 약 5ppm/℃ 내지 약 25ppm/℃의 열팽창계수를 보여주는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 13

청구항 1에 있어서,

조성물은 100 GPa 내지 300 GPa의 탄성률을 보여주는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 14

청구항 1에 있어서,

조성물은 150 내지 900 MPa의 항복 강도를 보여주는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 15

청구항 1에 있어서,

조성물은 170 MPa 내지 1000 MPa의 최대 인장 강도를 보여주는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 16

청구항 1에 있어서,

조성물은 코팅, 연마, 도금, 또는 이들의 조합에 의해 마무리되는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

조성물은 알루미늄, 카드뮴, 니켈, 또는 이들의 조합의 보호 코팅을 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 18

청구항 16에 있어서,

조성물은 알루미늄의 보호 코팅을 포함하는, 베릴륨-함유 조성물.

청구항 19

청구항 1에 있어서,

조성물은 용접 가능한(weldable), 베릴륨-함유 조성물.

청구항 20

알루미늄-베릴륨 금속 매트릭스를 갖는 청구항 1의 베릴륨-함유 조성물을 포함하는 베릴륨-함유 제품으로서,

제품은

약 1.5 g/cc 내지 약 2.5 g/cc의 밀도;

25℃에서 약 5ppm/℃ 내지 약 25ppm/℃의 열팽창계수;

100 GPa 내지 300 GPa의 탄성률;

150 내지 900 MPa의 항복 강도; 및

170 MPa 내지 1000 MPa의 최대 인장 강도를 보여주는, 베릴륨-함유 제품.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 2014년 12월 12일자로 출원된 미국 가 특허출원 제62/091,060호의 우선권을 주장하고, 이의 전체적인 내용은 참조로서 여기에 혼입된다.

[0002] 본 개시는 적층 가공 기술 (additive manufacturing techniques)을 사용하여 베릴륨-함유 조성물 유래의 생산물을 제조하는 시스템 및 방법에 관한 것이다. 이는 베릴륨 및 이의 합금을 포함하는 복잡하고, 경량, 및 견고한 부품을 다른 공정에 비해 경제적으로 제조할 수 있으며, 또한 이러한 부품의 신속한 축조 (construction)를 가능하게 한다.

배 경 기 술

[0003] 적층 가공 (AM)은 시제품 부품 (prototype parts), 최종 부품, 및 디지컬 모델로부터 공구의 빠르고 및 융통성 있는 생산을 위한 새로운 생산 기술이다. AM은 디지털 모델로부터 컴퓨터상으로 임의의 형태의 3-차원 (3D) 입체 사물 (solid objects)을 만든다. 일반적으로, CAD (computer-aided design) 모델링 소프트웨어를 사용하여 원하는 입체 사물의 디지털 청사진을 생성한 후, 그 다음 가상 청사진을 매우 작은 디지털 단면/층으로 분할하여 달성된다. 각 층은 베드 (bed) 또는 플랫폼의 표면에 걸쳐 퍼진 분말의 얇은 분포로 시작한다. 상기 분말은 사물이 형성되는 곳에서 선택적으로 결합된다. 빌드 박스 (build box) 내에서 베드/플랫폼을 지지하는 피스톤은 낮추어지고, 그 다음 분말 층은 퍼지고 선택적으로 결합될 수 있다. 이 순차적인 계층화 공정 (layering process)은 (3차원 프린터와 같은) AM 기계 내에서 반복되어 원하는 부분을 구성한다. 열처리 후, 미결합된 분말은 제거되어, 반-조립 부분 (semi-fabricated part)을 남긴다.

[0004] AM은, 디자인으로부터 시제품에서 상용 제품에 이르기까지의 시간을 극적으로 감소시키는 것을 포함하는, 많은 장점을 갖는다. 데모 유닛 (Demonstration units) 및 부품은 신속하게 생산될 수 있다. 부품은 일반적으로, 세라믹, 금속, 고분자, 및 복합물을 포함하는, 임의의 물질 및 임의의 기하학으로 생성될 수 있다. 국소적 조절은 물질 조성물, 미세구조, 및 표면 텍스쳐 (surface texture)에 대해 고려될 수 있다. 실행중인 디자인 변경은 가능하다. 단일 어셈블리 (single assembly)에서 여러 부품은 만들어질 수 있다. 시제품이 생산되기 전에 잠재적으로 복잡한 일회용 다이 (one-time die) 또는 공구세공 (tooling)은 만들 필요가 없다. 이들 3D 입체 사물을 만들기 위해 최소한의 에너지는 요구된다. 또한, 폐기물 및 원자재의 양을 줄인다. AM은 또한 매우 복잡한 기하학적 부품의 생산을 용이하게 한다. 지지 물질은 돌출부, 언더컷 (undercuts), 및 내부 체적을 생성하는데 사용될 수 있다. AM은 또한 부품을 주문형 및 현장에서 신속하게 만들 수 있기 때문에 사업을 위한 부품 재고를 줄인다.

[0005] 두 가지 종래의 AM 방법은 전자빔 용해 (electron beam melting) 및 레이저 소결을 포함한다. 전자빔 용해에서, 금속 분말의 침착 후에, 느슨한 금속 분말 단면은 전자빔에 의해 용융되거나 또는 융합된다. 레이저 소결에서, 레이저 빔은 느슨하게 압축된 금속 분말 단면의 구역을 소결시키는데 사용된다. 용어 "소결"은 미립자가 외부적으로 적용된 에너지로 인해 고체 물질 (solid mass)에 부착하는 공정을 나타낸다. 레이저 소결은 또한 주어진 단면을 이미-소결된 단면 하부와 융합시킬 것이다. 레이저 빔에 의해 부딪치지 않는 금속 분말은 유리되어 있으며, AM 기계에서 꺼낼 경우 완성된 부품에서 떨어진다. 선택적으로, 완성된 부분은 압축 공기와 같은 유체를 사용하거나 또는 진공청소에 의해 탈가루되어 (depowdered) 상기 완성된 부분을 세척하고 및 어떤 유리된 분말을

제거할 수 있다. 후속 마무리 단계는 또한 원하는 특성을 생성하기 위해 부품에 적용될 수 있다. 이러한 단계는, 또 다른 경화, 소결, 침투, 어닐링, 및 최종 표면 마무리를 포함하지만, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0006] 제3의 AM 방법은 바인더 제팅 (binder jetting)을 포함한다. 바인더 제팅에서, 금속 분말의 침착 후, 액체 결합제 (liquid binding agent)는 선택적으로 침착되어 분말 입자들을 함께 결합시킨다. 완성된 부분은 분말 및 바인더의 계층화를 통해 성장된다. 바인더 제팅은 그린 완성된 부분 (green finished part)을 결과할 수 있다. 용어 "그린 부분"은 다른 제조 기술로 추가 가공되도록 제조되는 제품 또는 프리폼을 의미한다. 예를 들어, 금속 그린 부품은 오븐에서 소결하는 단계 및 적어도 하나의 금속으로 침투시키는 단계로 더욱 가공된다. 침투 (infiltration)는 소결된 프리폼 내에 빈공간 (voids)을 채운다.

[0007] 베릴륨은 매우 바람직한 특성을 지닌 금속이다. 이들은 고 강성 (영률 = 287 GPa), 저밀도 (1.85 g/CC), 고 탄성률 (130 GPa), 고 비열 (1,925 J/kg·K), 고 열전도율 (216 W/m·K), 및 낮은 선형 열팽창계수 (11.4×10^{6}/°K)를 포함한다. 결과적으로, 베릴륨 및 이의 복합물은 항공기 및 우주로 운반되는 구조물, 고-성능 엔진 및 브레이크, 및 열 성능 및 진동 감쇠 (vibration damping)을 위한 전자 부품에 유용한다. 베릴륨 및 이의 복합물은 또한 연소 적용, 극초음속 운반체 (hypersonic vehicles), 및 핵에너지 성장 적용에 유용하다.

[0008] 부가적으로, 베릴륨 및 2종 이상의 금속으로 이루어진 베릴륨으로 만들어진 제품은, 티타늄 및 티타늄 합금과 같은, 다른 금속에 비하여, 연속 사용에 대한 더 높은 온도 범위 및 높은 비 탄성계수 (specific modulus)를 포함하는, 많은 장점을 가질 수 있다.

[0009] 그러나, 베릴륨의 다른 특성은 AM 기술을 사용하여 베릴륨 유래의 부품 및 구조물을 만드는 것을 어렵게 한다. 베릴륨은 쉽게 산화되고, 탄소, 질소, 및 기타 물질과 반응한다. 이의 용융 상태에서, 베릴륨은 또한 빠른 입자 성장을 겪는다. 부가적으로, 이러한 물질은 통상적으로 실온에서 거칠고 잘 부서지기 쉬운데 (brittle), 이는 그들의 복잡한 결정 구조에 부분적으로 기인한다. 결과적으로, 전자빔 용해 및 레이저 소결과 같은, 금속 분말의 국부적인 용융을 필요로 하는 AM 기술은, 베릴륨에 쉽게 적용될 수 없다. 베릴륨-함유 조성물에 적용될 수 있는 적층 가공 기술을 제공하는 것은 바람직할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 개시는 적층 가공 (AM) 기술을 통해 베릴륨 유래의 제품을 제조하는 방법에 관한 것이다. 상기 제품은, 알루미늄 또는 마그네슘과 같은, 적어도 하나의 금속을 포함하는 베릴륨 및/또는 이의 합금으로 제조된다.

과제의 해결 수단

[0011] 다양한 구체 예에서, 3-차원 프리폼을 형성하기 위해 복수의 층을 침착하는 단계; 상기 프리폼을 소결하여 소결된 프리폼을 형성하는, 소결 단계; 및 상기 소결된 프리폼을 적어도 하나의 금속으로 침투시켜 제품을 형성하는, 침투 단계를 포함하는 제품의 제조방법은 개시된다. 상기 복수의 층 중 적어도 하나의 층은 베릴륨 분말을 함유하는 베릴륨-함유 조성물로부터 형성된다. 상기 침투 금속은 알루미늄 및 마그네슘 중에서 선택될 수 있다.

[0012] 상기 베릴륨-함유 조성물은 바인더를 더욱 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 바인더는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리비닐 알코올, 콜로디온 (collodion), 또는 실리케이트로부터 선택된다. 상기 베릴륨-함유 조성물은 0.1 내지 99.9wt%의 바인더 및 0.1 내지 99.9wt%의 베릴륨 분말을 포함할 수 있다.

[0013] 몇몇 구체 예에서, 베릴륨 분말은 니켈로 코팅된 베릴륨 입자를 포함한다. 베릴륨 분말은 약 92wt% 내지 100wt% 미만의 베릴륨 및 0wt% 초과 내지 약 8wt%의 니켈을 포함할 수 있다.

[0014] 몇몇 구체 예에서, 상기 제품은 0 내지 5wt%의 니켈, 약 58 내지 약 65wt%의 베릴륨, 및 약 30 내지 42wt%의 알루미늄을 포함한다.

[0015] 상기 침착 단계는 약 실온에서 수행될 수 있다.

[0016] 몇몇 구체 예에서, 상기 방법은 프리폼을 소결하기 전에 복수의 층을 경화시키는 단계를 더욱 포함한다. 상기 방법은 소결 전에 및 경화 후에 느슨한 분말을 제거하는 단계를 더욱 포함할 수 있다.

[0017] 때때로, 상기 제품은 어닐링된다. 어닐링된 제품은, 예를 들어, 연마 또는 도금에 의해 마무리될 수 있다.

[0018] 또한, 여기의 방법에 의해 형성된 제품은 개시된다. 일반적으로, 이들 제품은 베릴륨과, 알루미늄 또는 마그네슘과 같은, 적어도 하나의 다른 금속과의 합금으로 형성된다. 상기 제품은 하기 특성의 임의의 조합을 가질 수 있다: 약 1.5 g/cc 내지 약 2.5 g/cc의 밀도; 25℃에서 약 5ppm/℃ 내지 약 25ppm/℃의 열팽창계수; 약 100 GPa 내지 약 300 GPa의 탄성률; 약 150 MPa 내지 약 900 MPa의 항복 강도; 및/또는 170 MPa 내지 1000 MPa의 최대 인장 강도 (ultimate tensile strength).

[0019] 이하 이들 및 다른 비-제한적인 특징은 좀 더 상세하게 기재된다.

도면의 간단한 설명

[0020] 다음은, 여기에 개시된 대표적인 구체 예를 예시하기 위한 목적으로 제시되지만, 이를 제한하기 위한 목적이 아닌, 도면의 간단한 설명이다.

도 1은 본 개시에 따른 제품을 제조하는 방법의 대표적인 구체 예를 예시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 개시는, 바람직한 구체 예의 하기 상세한 설명 및 그 안에 포함된 실시 예를 참조하면 좀 더 쉽게 이해될 수 있다. 하기 상세한 설명 및 청구 범위에서, 언급은 다음의 의미를 갖는 것으로 정의되는 다수의 용어에 대해 만들어질 것이다.

[0022] 다르게 정의되지 않는 한, 여기에서 사용되는 모든 기술적 및 과학적 용어는, 기술분야의 당업자가 일반적으로 이해하는 것과 동일한 의미를 갖는다. 충돌이 있는 경우, 정의를 포함하는 본 문서가 우선한다. 바람직한 방법 및 물질은 이하 기재되어 있지만, 여기에 기재된 것과 유사한 또는 균등한 방법 및 물질이 본 개시의 실행 또는 시험에 사용될 수 있다. 여기에 언급된 모든 간행물, 특허 출원, 특허 및 기타 참고 문헌은 그 전체가 참조로서 혼입된다. 여기에 개시된 물질, 방법 및 실시 예는 단지 예시적인 것이며 제한하려는 것은 아니다.

[0023] 단수 형태는 문맥상 명확하게 다르게 지시하지 않는 한 복수 대상을 포함한다.

[0024] 본 명세서 및 청구 범위에서 사용된 바와 같이, 용어 "포함하는"은 "이루어진" 및 "필수적으로 이루어진" 구체 예를 포함할 수 있다. 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "포함하는", "포괄하는", "갖는", "가지는", "할 수 있는", "함유하는", 및 이의 변형은, 다른 성분/단계의 존재를 요구하고 및 다른 성분/단계의 존재를 허용하는 개방-형 전환 문구인 것으로 의도된다. 그러나, 이러한 기재는 또한, 이로부터 결과할 수 있는 임의의 불순물과 함께, 명명된 성분/단계 만의 존재를 허용하고, 및 다른 성분/단계를 배제하는, 열거된 성분/단계로 "이루어진" 및 "필수적으로 이루어진" 것으로 조성물 또는 공정을 묘사하는 것으로 해석되어야 한다.

[0025] 본 명세서 및 청구 범위에서 수치 값은, 이들이 고분자 또는 고분자 조성물에 관련되는 한에서, 다른 특성의 개별의 고분자를 함유할 수 있는 조성물에 대한 평균값을 반영한다. 여기에 개시된 수치 값은, 상기 값을 결정하기 위해 본 출원에 기재된 타입의 전통적인 측정 기술의 실험 오차 미만만큼 명시된 값과 다른 수치 값 및 동일한 수의 유효 숫자로 감소되는 경우 동일한 수치 값을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 여기에 개시된 모든 범위는 인용된 말단점을 포함하고 독립적으로 조합 가능하다 (예를 들어, 2 grams 내지 10 grams의 범위는 말단점인, 2 grams 및 10 grams, 및 모든 중간 값을 포함한다). 여기에 개시된 범위 및 임의의 값의 말단점은 정확한 범위 또는 값으로 제한되지 않으며; 이들은 충분히 모호하여 이들 범위 및/또는 값에 비슷한 값을 포함한다.

[0027] 여기에 사용되는 바와 같이, 비슷한 언어는 그것이 관련된 기본 기능에서 변화를 결과하지 않고 변할 수 있는 임의의 양적 표현을 변경하기 위해 적용될 수 있다. 따라서, 예를 들어, "약" 및 "실질적으로"와 같은, 용어 또는 용어들에 의해 변경된 값은, 어떤 경우에, 명시된 정확한 값으로 제한되지 않을 수 있다. 한정어 "약"은 또한 두 말단점의 절대값에 의해 정의된 범위를 개시하는 것으로 해석되어야 한다. 예를 들어, "약 2 내지 약 4"의 표현은 또한 "2 내지 4"의 범위를 개시한다. 용어 "약"은 표시된 숫자의 ± 10%를 나타낼 수 있다. 예를 들어, "약 10%"는 9% 내지 11%의 범위를 나타낼 수 있고, 및 "약 1%"는 0.9-1.1을 의미할 수 있다.

[0028] 여기에 숫자 범위의 열거에 대하여, 동일한 정확도로 그들 사이에 각 개재 숫자는 명시적으로 고려된다. 예를 들어, 6-9의 범위에 대해, 숫자 7 및 8은 6 및 9에 부가적으로 고려되며, 범위 6.0-7.0의 범위에 대하여, 숫자 6.0, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 및 7.0은 명시적으로 고려된다.

[0029] 본 개시는 어떤 공정 단계에 대한 온도를 나타낼 수 있다. 이들은 일반적으로 열원 (예를 들어, 가열로, 오븐)

이 설정된 온도를 나타내는 것이며, 반드시 열에 노출되는 물질에 의해 달성되어야 하는 온도를 나타내지 않는 점에 주의하여야 한다.

[0030] 본 개시는 적층 가공 (AM) 기술을 사용하여 베릴륨 유래의 제품을 제조하는 방법에 관한 것이다. 도 1은 본 개시에 따른 제품을 제조하는 방법 (100)의 일반적인 단계를 예시한다. 단계 (110)에서, 제1, 베릴륨-함유 조성물의 다수의 층들은 3-차원 프리폼을 형성하기 위해 미리 결정된 패턴으로 침착된다. 선택적인 단계 (120)에서, 복수의 층은 인접한 층들 사이에서 응집력을 촉진하기 위해 경화되어 경화된 프리폼을 형성한다. 선택적인 단계 (130)에서, 제1 조성물의 부스러기들 (loose particles)은, 예를 들어, 진공청소로 경화된 프리폼으로부터 제거된다. 단계 (140)에서, 미경화된 프리폼은 소결되어 소결된 프리폼을 형성한다. 이 소결된 프리폼은 비교적 다공성이다. 그 다음, 침투 단계 (150)에서, 소결된 프리폼은 금속으로 침투되어 제품을 형성한다. 선택적인 단계 (160)에서, 제품은 어닐링될 수 있다. 선택적인 단계 (170)에서, 상기 어닐링된 제품은, 예를 들어, 연마 또는 도금에 의해 마무리되어 매끄러운 표면을 얻는다.

[0031] 베릴륨 함유 조성물은 베릴륨 분말을 포함한다. 베릴륨 입자는 주로 순수 베릴륨 또는 베릴륨 합금으로 구성될 수 있다. 대표적인 베릴륨 합금은 약 35wt% 내지 약 65wt%의 베릴륨 및 약 35wt% 내지 약 65wt%의 알루미늄을 함유하는 이원 합금을 포함하며, 이는 Materion Corporation으로부터 AlBeMet®로 상업적으로 이용 가능하다. 특정 베릴륨 금속은 S-65 등급 (99.2% 최소 Be 함량, 0.9% 최대 BeO), S-200 (98.5% 최소 Be 함량), B-26, I-220 (열간 등압 성형된 베릴륨 (Hot Isostatically Pressed beryllium), 최소 98% Be 함량), O-30 (열간 등압 성형된 베릴륨, 최소 99% Be 함량, 0.5% 최대 BeO), 및 UHP 9999 (99.99% 최소 Be 함량)를 포함하고, 이들은 모두 Materion Corporation로부터 이용 가능하다.

[0032] 베릴륨 분말은, 약 25 microns 내지 약 70 microns을 포함하는, 약 1 micron 내지 약 200 microns의 입자 크기를 가질 수 있다. 입자 크기는, 부피에 의해 입자의 50%의 누적 백분율 (cumulative percentage)이 도달하는 직경 또는 D_{50}이다. 달리 말하자면, 입자의 주어진 부피의 50%는 더 작은 직경을 가지며 및 입자의 50%는 더 큰 직경을 갖는다.

[0033] 몇몇 구체 예에서, 베릴륨 분말은 베릴륨-함유 조성물의 단일 성분이다. 이들 구체 예에서, 베릴륨 분말은 코어-쉘 구조를 갖는 입자 형태이며, 베릴륨은 코어를 구성하고, 코팅은 쉘을 구성한다. 상기 쉘은 바인더 (종종 탄소-계)와의 산화 또는 반응을 감소/방지하기 위해 베릴륨을 주변 환경으로부터 분리시킨다. 몇몇 구체 예에서, 상기 코팅은, 순수한 니켈 또는 니켈 합금의 형태로, 니켈을 포함한다. 상기 코어는 입자의 0.1wt% 내지 99.9wt%, 또는 입자의 50wt% 내지 99.9wt%, 또는 약 92wt% 내지 100wt% 미만일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 코팅은 입자의 0.1wt% 내지 99.9wt%, 또는 0.1wt% 내지 50wt%, 또는 0wt% 초과 내지 약 8wt%의 니켈일 수 있다. 특정 구체 예에서, 베릴륨 분말은 약 92wt% 내지 100wt% 미만의 베릴륨 및 0wt% 초과 내지 약 8wt%의 니켈을 포함한다. 일반적으로, 코팅은 완성된 제품의 일부가 되는 것으로 고려된다.

[0034] 다른 구체 예에서, 베릴륨 분말은 주변 환경으로부터 베릴륨을 분리시키는 적절한 바인더와 혼합된다. 바인더는 여기에 개시된 베릴륨 함유 조성물의 화학적 및 물리적 특성에 기초하여 선택될 수 있다. 바인더의 몇몇 비-제한적인 예로는 푸란, 페놀 및 수성-계 바인더를 포함한다. 바인더의 또 다른 비-제한적인 예로는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리비닐 알코올, 콜로디온 (collodion), 또는 실리케이트를 포함한다. 이들 구체 예에서, 베릴륨-함유 조성물은 0.1 내지 99.9wt%의 베릴륨 분말을 함유한다. 베릴륨-함유 조성물은 또한 0.1 내지 99.9wt%의 바인더를 함유한다. 일반적으로, 베릴륨 분말은 베릴륨-함유 조성물의 대부분 (중량 기준)이다. 바인더는 소결 동안 "연소"되고 베릴륨과 반응하지 않는 것으로 고려된다. 바인더를 포함하는 이들 구체 예에서, 베릴륨 분말은, 최종 용도에 따라, 전술한 바와 같이 미코팅되거나 또는 코어-쉘 구조일 수 있다.

[0035] 3-차원 프리폼은 그 다음 적층 가공 (AM) 시스템을 사용하여 베릴륨 함유 조성물로부터 제조된다. 대표적인 AM 시스템은 빌드 박스 및 공급원을 포함하는 3-차원 프린터이다. 빌드 박스는 빌드 플랫폼, 측벽, 갠트리 (gantry), 및 적어도 하나의 침착 헤드 (deposition head) (일반적으로 적어도 2개)를 포함한다. 빌드 플랫폼은 일반적으로 베릴륨-함유 조성물의 층이 침착되는 평면이다. 빌드 플랫폼은 컴퓨터로-작동하는 컨트롤러 (controller)에서 제공되는 신호를 기반으로 갠트리에 대하여 수직 z-축을 따라 이동한다. 측벽은 빌드 플랫폼과 협력하여 침착된 분말을 함유하는 "박스"를 형성한다. 일반적으로, 측벽은 고정된 위치에서 유지되고, 빌드 플랫폼은 분말의 다음 층이 침착되는 것이 가능하도록 하향 이동한다.

[0036] 갠트리는 컨트롤러로부터 제공된 신호에 기초하여 빌드 박스에 대해 수평 x-y 평면에서 침착 헤드(들)를 이동시키도록 바람직하게 구성된다. 수평 x-y 평면은 x-축 및 y-축에 의해 한정된 평면이고, 여기서 x-축, y-축, 및 z-축은 서로 수직이다. 다른 유사한 배열은 또한 빌드 플랫폼 및 침착 헤드(들)이 서로에 대해 이동 가능하도록

사용될 수 있다. 빌드 박스는 일반적으로, 불활성 가스가 AM 공정 중에 사용될 수 있도록, 하우징에 의해 밀봉된다.

[0037] 침착 헤드(들)은 빌드 플랫폼상에 특정 위치에 베릴륨-함유 조성물을 침착시키는데 사용된다. 구체 예들에서, 2개의 이러한 침착 헤드가 존재하는 것으로 고려된다. 하나의 침착 헤드는 베릴륨-함유 조성물을 침착시키는데 사용된다. 다른 침착 헤드는 지지 물질 (support material)을 침착시키는데 사용될 수 있다. 지지 물질은 베릴륨-함유 조성물에 지지체를 제공하기 위해 사용되어, 제품의 최종의 최종 원하는 형태는 얻어질 수 있다. 예를 들어, 지지 물질은 하부층 상에 위치된 상부층에서 지지 물질 바로 위에 놓일 돌출 베릴륨 (overhanging beryllium)을 지지하도록 하부층에 침착될 수 있다. 베릴륨-함유 조성물이 경화되자마자, 지지 물질은, 예를 들어, 세척 또는 진공청소에 의해 제거될 수 있다. 대표적인 지지 물질은 주물 모래 (casting sand) 및 고분자를 포함한다.

[0038] 침착 헤드(들)은 일반적으로 서로에 대해 고정된 관계로 장착되고, 갠트리를 통해 빌드 플랫폼에 대하여 이동한다. 각 침착 헤드는 또한 특정 헤드에 의해 침착될 물질을 위한 공급원에 연결된다. 물질은 노즐 또는 오리피스를 통하여 침착 헤드를 통해 침착된다.

[0039] 본 개시의 AM 공정에서, 베릴륨-함유 침착의 다수의 층은 사전설정된 패턴으로 침착된다. 각 층에 대한 사전설정된 패턴은 조합된 층이 원하는 제품을 형성하도록 결정된다. 각 층은 베릴륨-함유 조성물로부터 형성된다. 일반적으로, 각 층은 또 다른 층상에 또는 그에 인접하여 침착되어, 또 다른 층에서 베릴륨 함유 조성물의 일부와 접촉하는, 각 층에서 베릴륨 함유 조성물의 일부가 존재하도록 한다. 각 층의 두께는 약 10 micrometers (㎛) 내지 약 120㎛의 범위일 수 있다. 베릴륨-함유 조성물의 침착은 일반적으로 실온에서 수행된다. 다시, 원한다면, 이 침착은, 아르곤과 같은, 불활성 희가스의 존재하에서 수행될 수 있다.

[0040] 베릴륨-함유 조성물이 분말의 형태인 경우, 분말 입자는 비교적 고속으로 균일하게 침착되어야 한다. 분말 입자는 바람직하게는, 더 큰 다공도를 갖는 부품이 요구되는 경우를 제외하고는, 상대적으로 고밀도로 다져질 수 있다. 콜로이드 과학 (colloidal science) 및 분말 분산 화학의 분야에 사용된 공지 기술은 사용하여 요구된 속도 및 밀도에서 이러한 분말의 원하는 균일한 침착을 제공할 수 있다. 베릴륨-함유 조성물이 바인더를 함유하는 경우, 베릴륨-함유 조성물은 가열될 수 있고, 그 다음 용융된 모노필라멘트 (monofilament)의 형태로 압출될 수 있다.

[0041] 각 층이 침착된 후에, 상기 층은 그 다음 열원에 노출에 의해 부분적으로 경화된다. 이러한 부분 경화는 바인더 또는 코어-쉘 입자의 쉘이 끈적끈적하게 되어, 주어진 층 내에 및 층들 사이 모두에, 베릴륨-함유 조성물의 결합을 촉진하는 것으로 고려된다.

[0042] 특정 구체 예에서, 베릴륨-함유 침착 층을 침착시키는 단계 및 상기 층을 부분적으로 경화시키는 단계들은 반복된다. 층들의 최종 조합은 3-차원 프리폼의 형성을 결과한다. 프리폼은 매우 다공성이며, 통상적으로 약 30부피% (vol%) 내지 약 60부피%의 베릴륨-함유 조성물로 이루어지며, 나머지는 빈공간이다.

[0043] 몇몇 구체 예에서, 베릴륨-함유 조성물의 분말 층이 침착된 후에, 침착된 층은, 분말 층을 선택적으로 소결 또는 용융하기 전에, 열원에 노출시켜 경화될 수 있다. 분말 층을 침착시키고 및 선택적으로 층을 경화시킨 후에, 분말 층은 컨트롤러로부터 제공된 신호에 기초하여 사전설정된 패턴에 기초하여 선택적으로 소결되거나 또는 용융된다. 몇몇 구체 예에서, 사전설정된 패턴은 CAD 모델의 층에 기초하여 결정된다. 소결 또는 용융은 전자빔 또는 레이저 빔을 사용하여 수행될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 전자빔 또는 레이저 빔은 약 10^4 W/㎟ 내지 약 10^7 W/㎟의 출력 밀도 (power density)를 갖는다. 소결 또는 용융은 진공 하에 또는 아르곤과 같은 비활성 희가스의 존재하에서 수행될 수 있다. 분말 층을 침착하는 단계, 선택적으로 상기 층을 경화시키는 단계, 및 상기 층을 소결 또는 용융시키는 단계들은, 3-차원 프리폼이 형성될 때까지 반복된다.

[0044] 다른 구체 예에서, 베릴륨-함유 조성물의 분말 층이 침착된 후에, 액체 결합제는 선택적으로 침착되어 분말 입자를 함께 결합시킨다. 결합제는 푸란, 페놀, 실리케이트, 및 수-계 바인더로부터 선택된다. 결합제 및 베릴륨-함유 조성물의 분말 층은 컨트롤러로부터 제공된 신호에 기초하여 사전설정된 패턴에 기초하여 선택적으로 침착된다. 사전설정된 패턴은 CAD 모델의 층들에 기초하여 결정될 수 있다. 3-차원 프리폼이 형성될 때까지 분말 및 결합제를 레이아웃 (laying out)하는 단계는 반복된다.

[0045] 다음으로, 다공성 프리폼은 핸들링을 위한 생강도 (green strength)를 생성하고, 인접 층들 사이에 응집을 촉진하기 위해 완전히 경화될 수 있다 (120). 경화는 오븐에서 수행될 수 있다. 경화는, 약 9시간을 포함하는, 약 6

내지 약 12시간의 기간동안 수행될 수 있다. 다시, 이는 열원이 설정된 온도이며, 반드시 프리폼에 의해 달성된 온도는 아니다. 또한, 다시, 원하는 대로, 경화는 아르곤과 같은 불활성 희가스의 존재하에 수행될 수 있다. 이 경화는 일반적으로 프리폼을 치밀화시킨다.

[0046] 경화 후에, 프리폼은 어떤 바람직하지 않은 물질, 예를 들어, 부스러기, 지지 물질 등으로부터 분리 (130)된다. 이는, 예를 들어, 진공청소, 또는 블로잉 (blowing)에 의해 수행될 수 있다. 원하는 대로, 이들 물질은 재활용될 수 있다.

[0047] 프리폼은 그 다음 소결되어 소결된 프리폼을 형성한다 (140). 소결 (140)은 도가니 (예를 들어, 흑연 도가니)에서 완료될 수 있다. 소결은, 베릴륨 자체를 포함하는, 금속 입자의 야금학적 결합을 유발할 수 있고 존재할 수 있는 임의의 바인더를 "태워 제거한다". 소결 후에, 소결된 프리폼은 약 30 부피 퍼센트 (vol%) 내지 100 vol% 미만의 범위에서 다공도를 가질 수 있다. 원하는 대로, 소결은 진공 하에서 또는 아르곤과 같은 불활성 희가스 하에서 수행될 수 있다.

[0048] 그 다음, 소결된 프리폼은 적어도 하나의 금속으로 침투된다 (150). 대표적인 금속은 알루미늄, 마그네슘, 리튬, 및 이들의 합금을 포함한다. 침투는 소결된 프리폼 내의 빈공간을 채운다. 결과적으로, 제품의 상대 밀도 (relative density)는 약 90% 내지 100%로 증가된다. 상대 밀도는 빈공간을 함유하지 않는 경우의 제품 밀도에 대한 실제 제품의 비이며, 및 다공도와는 다르다. 통상적으로, 프리폼은 스틸트 (stilt)로 만들어지고, 및 침투 금속은 스틸트를 통해 프리폼로 빨려들어간다 (wick). 스틸트는 그 다음 공정 후에 제거되어 제품을 얻는다.

[0049] 특정 구체 예에서, 침투는 알루미늄만으로 수행된다. 다른 구체 예에서, 침투는 베릴륨만으로 수행된다. 베릴륨-함유 조성물 내에 물질에 따라, 최종 제품은 결과물은 (1) 오직 베릴륨 또는 알루미늄으로 구성되거나, 또는 (2) 오직 베릴륨 및 마그네슘으로 전적으로 구성될 수 있다. 만약 베릴륨이 니켈-코팅된 입자의 형태인 경우, 최종 제품은 (3) 오직 베릴륨, 니켈, 및 알루미늄; 또는 (4) 오직 베릴륨, 니켈, 및 마그네슘으로 전적으로 구성될 수 있다. 전술된 바와 같이, 베릴륨 분말 자체는, 예를 들어, 알루미늄과 합금일 수 있다. 소결된 프리폼의 표면 에너지에 따라, 침투는 약 1 내지 약 1000 기압의 압력 범위에서 수행될 필요가 있을 수 있다.

[0050] 그 다음, 소결된 제품은 일반적으로 어닐링된다 (160). 어닐링은 통상적으로 온도가 상승된 열처리를 의미하고, 상기 물질은 그 다음 실온으로 천천히 냉각된다. 소결, 침투 및 어닐링 단계는 연속적으로 수행될 수 있다. 소결 및 침투에 사용되는 고온 때문에, 여기에서 어닐링은 일반적으로 냉각만으로 이루어진다. 어닐링은 제품의 인장 강도 및 항복 강도를 낮출 수 있어, 취급 및 선택적 후 기계가공 (예를 들어, 밀링, 드릴링 및 탭핑 (tapping)) 동안 제품을 덜 부서지게 한다.

[0051] 원한다면, 제품은 그 다음에 마무리될 수 있다 (170). 마무리 단계는 제품을 연마 단계 및/또는 도금 단계를 포함할 수 있다. 제품의 표면 거칠기는, 예를 들어, 비드 블라스팅 (bead blasting) 또는 배럴 마무리 (barrel finishing)를 통해 감소될 수 있다. 니켈 상에 알오딘 (Alodine) 또는 카드뮴, 또는 무전해 니켈 도금 또는 양극산화와 같이, 통상적인 알루미늄 보호 코팅은 적용될 수 있다.

[0052] 여기에 기재된 방법 및 공정은 고 강성을 갖는 복합, 경-량 부품을 생산할 수 있고, 다른 공정보다 저렴하고 신속하게 수행할 수 있는 것으로 고려된다.

[0053] 상기 제품의 Al-Be 또는 Mg-Be 또는 Al-Mg-Be 또는 Al-Be-Ni 또는 Al-Mg-Be-Ni 조성물은, 고순도 금속 생산물과 비교하여, 더 많은 오염원 또는 합금 원소가 존재할 수 있지만, 이들 고순도 금속 생산물의 매우 유사한 또는 동일한 특성을 여전히 얻는 것으로 고려된다. 이러한 적층 가공 공정은 또한 일반적으로 고순도 베릴륨 생산품과 함께 사용되어야 하는 제조 공정보다 쉽고 저렴하다.

[0054] 특정 구체 예에서, 제품은 0wt% 내지 약 5wt%의 니켈, 약 58wt% 내지 약 65wt%의 베릴륨, 및 약 30 내지 42wt%의 알루미늄을 함유한다.

[0055] 제품은 하기 특성 중 임의의 조합을 가질 수 있다: 약 1.5 g/cc 내지 약 2.5 g/cc의 밀도; 25℃에서 약 5ppm/℃ 내지 약 25ppm/℃의 열팽창계수; 약 100 GPa 내지 약 300 GPa의 탄성률; 약 150 MPa 내지 약 900 MPa의 항복 강도; 및/약 또는 170 MPa 내지 약 1000 MPa의 최대 인장 강도.

[0056] 알루미늄-베릴륨 금속 매트릭스를 갖는 최종 제품은 베릴륨의 고 모듈러스 (high modulus) 및 저-밀도 특성을 알루미늄의 제조 및 기계적 특성과 결합시킬 수 있는 것으로 고려된다. 이들은 우수한 가공 특성을 갖는 높은 비 강성을 포함한다. 예를 들어, 제품은 용접 가능해야 하며, 기계적 손상에 민감하지 않아야 하고, 및 베릴륨과 같이 기계가공 후에 에칭을 요구하지 않아야 한다. 그들은 우수한 탄성률, 저 밀도 및 높은 열용량을 가져야

한다. 고 모듈러스-대-밀도 비는 변형 (flexure)을 최소화하고 및 기계적으로 유도된 파손의 가능성을 감소시킨다. 높은 열전도성은 히트 싱크 (heat sink)로 사용하는 것을 가능하게 한다. 고려된 낮은 CTE는 알루미늄 단독과 같은 다른 물질보다 좀 더 밀접하게 보통 세라믹 칩 캐리어 (ceramic chip carriers)의 CTE와 일치해야 한다. CTE가 일치할 수록, 납땜 이음 (solder joints)에 부과된 변형이 줄어들어, 납땜 이음의 피로 수명을 증가시키고, 및 회로 보드에 대해 더 긴 수명을 결과한다.

[0057] 본 개시는 대표적인 구체 예를 참조하여 기재되었다. 명백하게, 전술한 상세한 설명을 읽고 이해할 때 다른 사람들에 의해 변형 및 개조는 일어날 것이다. 본 개시는, 모든 이러한 변형 및 개조가 첨부된 청구 범위 또는 이의 균등물의 범주 내에 속하는 한, 이들을 포함하는 것으로 해석되도록 의도된다.

도면

도면1

