(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0040283
(43) 공개일자 2021년04월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 10/14 (2021.01) *B22F 1/00* (2006.01)
B22F 3/10 (2006.01) *B22F 3/24* (2006.01)
B22F 9/08 (2006.01) *C22C 33/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 10/14 (2021.01)
B22F 1/0003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7035426
(22) 출원일자(국제) 2019년05월09일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년12월09일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2019/053831
(87) 국제공개번호 WO 2019/215664
국제공개일자 2019년11월14일
(30) 우선권주장
62/669,450 2018년05월10일 미국(US)

(71) 출원인
스택폴 인터내셔널 파우더 메탈, 리미티드
캐나다 온타리오 엘9지 4브이5 앵커스터 코머런트 로드 1325
(72) 발명자
시바나트 로히트
캐나다 엠8더블유 4제이7 온타리오 토론토 알더크레스트 로드 238
셴 펭
캐나다 엘6에이치 7엔5 온타리오 오크빌 힐다 드라이브 2445
윌리암스 빈센트
캐나다 엘6엠 2이6 온타리오 오크빌 에지힐 플레이스 1104
(74) 대리인
김태홍, 김진희

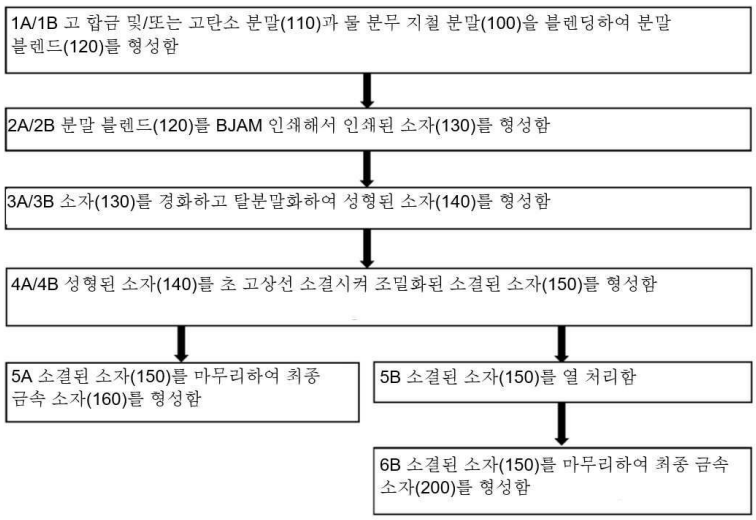
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 **폐로 분말 금속 소자의 결합제 분사 및 초 고상선 소결**

(57) 요 약

조밀화된 고강도 금속 소자는: 분말 블렌드를 결합제 분사 적층 제조(BJAM) 인쇄하여 인쇄된 부분을 형성하는 단계; 및 인쇄된 부분을 초 고상선 소결하여 금속 소자를 형성하는 단계에 의해 제조되며, 상기 소결된 금속 소자는 기 이후에 열처리 될 수 있다. 분말 블렌드는 물 분무 지철 분말 및 마스터 고탄소 페로합금 분말을 포함한다. 고탄소 페로합금 분말은 고농도의 탄소를, 쉽게 BJAM 인쇄가 가능한 분말 블렌드에 도입한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B22F 3/10 (2013.01)
B22F 3/24 (2013.01)
C22C 33/0278 (2013.01)
B22F 2009/0828 (2013.01)
B22F 2998/10 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속 소자를 제조하는 방법으로서, 상기 방법은

분말 블렌드를 결합제 분사 제조 인쇄하여 인쇄된 부분을 형성하는 단계; 및

상기 인쇄된 부품을 초 고상선 소결해서 금속 소자를 형성하는 단계를 포함하되,

상기 분말 블렌드는 물 분무 지철 분말 및 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말을 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 인쇄하는 단계 전에, 물 분무 지철 분말을 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말과 블렌딩하여 분말 블렌드를 형성하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 물 분무 지철 분말은 순수(pure) 또는 사전 합금 등급(prealloyed grade)의 철 분말을 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 소결하는 단계는 금속 소자를 조밀하게 하는 것인, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 금속 소자는 고강도 금속 소자를 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말은 적어도 하나의 전이 요소를, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 적어도 하나의 전이 요소는 Cr, Mn, Mo, V, W, Ni, 또는 Cu를 포함하는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말은 5 내지 10중량%의 탄소를 포함하는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말은 45 um 미만의 D50 입자 크기를 갖는, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 물 분무 지철 분말은 40 um 미만의 D50 입자크기를 갖는, 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 물 분무 지철 분말은 90 내지 110 um의 D50 입자크기를 갖는, 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 분말 블렌드는 15 내지 35wt%의 합금 함량을 갖는, 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 분말 블렌드는 2 내지 5wt%의 합금 함량을 갖는, 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 인쇄 단계는 경화 및 탈분말화를 통해 인쇄된 부분을 형성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 인쇄된 부분은 상기 소결 단계 이전에 40 내지 60%의 다공도를 가지며, 상기 소결 단계는 금속 소자에서 다공도를 10% 미만으로 감소시키는, 방법.

청구항 16

제1항에 있어서, 금속 소자는 10% 미만의 다공도를 갖는, 방법.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 소결 단계는 1100 내지 1400℃의 온도에서 이루어지는, 방법.

청구항 18

제1항에 있어서, 상기 소결 단계는 인쇄된 부분을 15 내지 25% 만큼 수축시키는, 방법.

청구항 19

제1항에 있어서, 금속 소자의 미세구조는 매트릭스에 포매된(embedded) 카바이드 상 부분을 함유하며, 매트릭스는 카바이드 상 부분보다 더 부드러운, 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 카바이드 상 부분은 1000 내지 1700 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는, 방법.

청구항 21

제19항에 있어서, 매트릭스는 250 내지 800 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는, 방법.

청구항 22

제1항에 있어서, 상기 소결 단계의 완료 시, 금속 소자는 30 내지 50 HRC의 경도를 갖는, 방법.

청구항 23

제1항에 있어서, 금속 성분을 열처리하는 단계를 상기 소결 단계 이후에 추가로 포함하되, 상기 열처리하는 단계는 금속 소자의 강도를 증가시키는, 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자의 미세 구조는 마르텐사이트 기질에 포매된 카바이드 상 부분을 함유하는, 방법.

청구항 25

제23항에 있어서, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자는 적어도 50 HRC의 경도를 갖는, 방법.

청구항 26

제23항에 있어서, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자는 55 내지 65 HRC의 경도를 갖는, 방법.

청구항 27

제23항에 있어서, 카바이드 상 부분은 1000 내지 1700 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는, 방법.

청구항 28

제23항에 있어서, 기질은 600 내지 800 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는, 방법.

청구항 29

제23항에 있어서, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자는 ASTM G65-10 절차 A에 따라 부피 손실이 100 mm^3 이하가 되도록 내마모성을 갖는, 방법.

청구항 30

금속 소자로서,

분말 블렌드를 결합제 분사 적층 제조 인쇄하여 인쇄된 부분을 형성하는 단계; 및

상기 인쇄된 부품을 초 고상선 소결하여 금속 소자를 형성하는 단계에 의해 제조되며,

상기 분말 블렌드는 물 분무 지철 분말 및 마스터 페로합금 분말을 포함하는, 금속 소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2018년 5월 10일자로 출원된 미국 특허 가출원 제62/669,450호에 대한 우선권을 주장하며, 그 주제는 그 전체가 참조로서 본원에 통합된다.

[0003] 기술분야

[0004] 다양한 구현예는 일반적으로 금속 부품의 적층 제조(additive manufacturing), 보다 구체적으로는 금속 부품의 결합제 분사 적층 제조(binder jet additive manufacturing)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 관련 기술의 설명

[0006] 다양한 물질로 이루어진 복잡한 기학학적 구조를 제조하기 위한 금속 부품의 적층 제조 공정이 개발되었다. 일반적으로 가스 분무(GA)에 의해 생산되는 미립자 금속의 선택적 레이저 용융(SLM) 및 전자 빔 용융(EBM)과 같은 기술이 공지되어 있다. 구형 GA 분말 등급은 고가이며, 항공우주 분야와 의료 기기와 같은 고가 시장에서 초기에 적용되었다.

[0007] 결합제 분사 적층 제조(Binder Jetting Additive Manufacturing, BJAM) 공정은 중합체 물질의 프로토타입 제작용 및 주조 산업용 샌드 코어(sand core) 생산용으로도 알려져 있다. 금속 성분 또한 BJAM에 의해 낮은 소결 밀도로 생산되며, 소결 후에는 부품의 용침(infiltration)이 필요하다. 슬러리 펌프 임펠러는 이러한 기술의 적용 예이다.

발명의 내용

[0008] 물 분무(WA) 등급의 철이 BJAM 공정에 사용되어 왔으나, 높은 밀도를 달성하기 위해서는 인쇄 후 용침 합금을 위한 같은 추가적인 비용이 소요될 수 있다. 또한, 최종 특성은 주어진 미세구조와 생산된 밀도로 제한된다.

[0009] 슬러리 펌프 로터와 드릴 섹션과 같은 산업 및 광업 응용 분야에서 고 내마모성 소자는 통상적으로 종래에 주조되거나 단조 후 기계 가공된다. 이들 합금은 필수적으로 매우 높은 경도, 예를 들어 50 내지 65 HRc를 가지며 기계 가공이 어렵다. 제조 가능성을 이유로 복잡한 형태를 설계하는 것은 쉽지 않다. 따라서, 하나 이상의 비제한적인 구현예는 BJAM 및 소결을 이용해 내마모성이 양호한 마이크로구조와 높은 경도 수준을 갖는 복잡한 형상의 제조를 용이하게 한다. 이들 다양한 구현예에 따르면, 설계 자유도 및 재료 특성은 종래의 가공 방법에 비해 이점을 제공한다.

[0010] 적층 제조에는 일반적으로 고가의 특수 철 분말(예: 가스 분무 철 분말)이 요구된다. 대조적으로, 하나 이상의 비제한적인 구현예는 쉽게 이용할 수 있는 저비용의 물 분무 등급을 사용한다.

[0011] 하나 이상의 비제한적 구현예는, 물 분무 지철 분말 및 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말(master ferroalloy powder)의 분말 블렌드를 BJAM 인쇄하여 인쇄된 부분을 형성하고, 인쇄된 부분을 초 고상선 소결하여 금속 소자를 형성함으로써 금속 소자를 제조하는 방법을 제공한다.

[0012] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 방법은, 상기 인쇄하는 단계 전에, 물 분무 지철 분말(base iron powder)을 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말과 블렌딩하여 분말 블렌드를 형성하는 단계를 또한 포함한다.

[0013] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 물 분무 지철 분말은 순수(pure) 또는 사전 합금 등급(prealloyed grade)의 철 분말을 포함한다.

[0014] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 소결하는 단계는 금속 성분을 조밀하게 한다.

[0015] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 금속 소자는 고강도 금속 소자를 포함한다.

[0016] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 페로합금은 전이 요소를 포함한다.

[0017] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 전이 요소는 Cr, Mn, Mo, V, W, Ni, 또는 Cu를 포함한다.

[0018] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말은 5 내지 10중량%의 탄소를 포함한다.

[0019] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말은 45 um 미만의 D50 입자 크기를 갖는다.

[0020] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 적어도 하나의 물 분무 지철 분말은 40 um 미만의 D50 입자 크기를 갖는다.

[0021] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 적어도 하나의 물 분무 지철 분말은 70 내지 130 um의 D50 입자 크기를 갖는다.

[0022] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 분말 블렌드는 15 내지 35중량%의 총 합금 함량을 갖는다.

[0023] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 분말 블렌드는 2 내지 5중량%의 탄소 함량을 갖는다.

[0024] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 인쇄하는 단계는 경화 및 탈분말화를 통해 인쇄된 부분을 형성하는 단계를 포함한다.

[0025] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 인쇄된 부분은 상기 소결 단계 이전에 40 내지 60%의 다공도를 가지며, 상기 소결 단계는 금속 소자에서 다공도를 10% 미만으로 감소시킨다.

[0026] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 금속 소자는 10% 미만의 다공도를 갖는다.

[0027] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 소결 단계는 1100 내지 1400℃의 온도에서 이루어진다.

[0028] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 소결 단계는 인쇄된 부분을 15 내지 25%만큼 수축시킨다.

[0029] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 금속 소자의 미세구조는 기질에 포매된(embedded) 카바이드 상 부분을 함유하며, 기질은 카바이드 상 부분보다 더 부드럽다.

[0030] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 카바이드 상 부분은 1000 내지 1700 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다.

[0031] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 기질은 250 내지 800 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다.

[0032] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 소결 단계의 완료 시, 금속 소자는 30 내지 50 HRC의 경도를 갖는다.

[0033] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 방법은 또한 금속 성분을 열처리하는 단계를 상기 소결 단계 이후에 포함하며, 상기 열처리하는 단계는 금속 소자의 경도를 증가시킨다.

[0034] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 금속 성분은 마르텐사이트 기질에 포매된 카바이드 상 부분을 함유한다.

[0035] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 열처리 단계 이후, 금속 소자는 적어도 50 HRC의 경도를 갖는다.

[0036] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 열처리 단계 이후, 금속 소자는 55 내지 65 HRC의 경도를 갖는다.

[0037] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 카바이드 상 부분은 1000 내지 1700 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다.

[0038] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 기질은 600 내지 800 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다.

[0039] 이들 구현예 중 하나 이상에 따르면, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자는 ASTM G65-10 절차 A에 따라 부피 손실이 100 mm^3 이하가 되도록 내마모성을 갖는다.

[0040] 하나 이상의 구현예는, 분말 블렌드를 결합제 분사 적층 제조 인쇄하여 인쇄된 부분을 형성하는 단계; 및 인쇄된 부분을 초 고상선 소결하여 금속 소자를 형성하는 단계에 의해 제조되는 금속 소자를 제공한다. 분말 블렌드는 물 분무 지철 분말 및 적어도 하나의 마스터 페로합금 분말을 포함한다.

[0041] 하나 이상의 구현예는, 최종적으로 원하는 소자 형상 및 크기를 달성하기 위해 부차적인 작업 없이, 높은 밀도, 경도 및 강성(toughness)을 갖는 복잡한 형태의 페로합금 소자의 제조를 용이하게 한다.

[0042] 다양한 구현예에 따르면, BJAM 인쇄 공정은 복잡하고, 고강성, 고경도 소자를 위한 새로운 소량 시장을 촉진한다.

[0043] 이들 구현예들 중 하나 이상에 따라 제조된 소자는 드릴 부품, 슬러리 펌프 등을 포함할 수 있다.

[0044] 본 발명의 다양한 구현예의 이들 및/또는 다른 양태 중 하나 이상을 비롯하여, 연관된 구조 요소의 작동 방법 및 기능, 및 부품과 제조 경제성의 조합은 첨부된 도면을 참조하여 다음의 상세한 설명 및 청구범위를 고려함으로써 더욱 명백해질 것이며, 이들 모두는 본 명세서의 일부를 구성한다. 다양한 도면 중 동일한 참조 부호는 동일한 구성요소를 지칭한다. 본원의 임의의 일 구현예에서 도시되거나 기술된 구조적 특징이 다른 구현예에도 사용될 수 있는 것으로 이해해야 한다. 본 명세서 및 청구범위에서 사용되는 바와 같이, 문맥 상 달리 언급되지 않는 한, 단수 형태는 복수의 지시 대상을 포함한다.

[0045] 본 명세서에 개시된 값의 폐쇄 단부형 범위(예를 들어, A 내지 B) 및 개방 단부형 범위(예: C보다 큰)는 이러한 범위 내에 속하거나 중첩되는 모든 범위를 명시적으로 포함한다. 예를 들어, 1 내지 10의 개시된 범위는, 다른 범위 중에서도, 2 내지 10, 1 내지 9, 3 내지 9 등도 개시하는 것으로 이해된다. 유사하게, 다수의 파라미터(예를 들어, 파라미터 C, 파라미터 D)가 범위를 갖는 것으로 개별적으로 개시되는 경우, 본원에 개시된 구현예는 하나의 파라미터(예를 들어, 파라미터 C)의 개시된 범위 내의 임의의 값 및 임의의 다른 파라미터(예를 들어, 파라미터 D)의 개시된 범위 내의 임의의 값의 조합을 명시적으로 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0046] 다양한 구현예 뿐만 아니라 다른 대상 및 이의 추가 특징에 대한 더 나은 이해를 위해, 첨부 도면과 함께 사용되는 다음의 상세한 설명을 참조하며, 여기서:

도 1은 대안적인 구현예에 따라 금속 소자를 제조하는 다양한 방법을 도시하는 흐름도이고,

도 2는 예시적인 Fe-C상도(Fe-C phase diagram)이며,

도 3은 도 1에 도시된 제조 방법 중 하나 이상에 따라 제조된 금속 소자의 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 도 1은 대안적인 구현예에 따라 금속 소자를 제조하는 다양한 방법을 도시하는 흐름도이다. 단계 1A~5A는 열처리되지 않은 소자(160)에 대한 제조 단계를 제공하는 반면, 단계 1B~6B는 열처리된 소자(200)에 대한 제조 단계를 제공한다.

[0048] 단계 1A/1B에서, 지철 분말(base iron powder) 및/또는 미리 합금된 철 분말(100)은 마스터 합금 분말(110)과 혼합되어 분말 블렌드(120)를 형성한다.

[0049] 다양한 구현예에 따르면, 지철 분말(100)은 적어도 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 및/또는 100%의 물 분무(WA) 원소 철 분말을 포함한다. 다양한 구현예에 따르면, 철 분말(100)은 표준 저가 WA 철 분말을 포함한다. 다양한 구현예에 따르면, WA 철 분말(100)은 (a) 150, 140, 130, 125, 120, 115, 110, 105, 100, 95, 90, 85, 80, 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 및/또는 30 um 미만, (b) 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 및/또는 100 um 초과, 및/또는 (c) 임의의 이러한 2개의 값 사이의 D40,

D45, D50, D55, D60, D65, D70, D75, 및/또는 D80 입자 크기를 갖는다(예를 들어, 20 내지 150 um, 25 내지 40 um, 및/또는 90 내지 110 um의 D50 입자 크기; 20 내지 150 um, 25 내지 40 um, 및/또는 90 내지 110 um의 D60 입자 크기).

[0050] 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은, 고합금 함량 및 고탄소 함량을 갖는 페로 분말을 포함하는 적어도 하나의 페로합금 분말을 포함한다. 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)의 합금 물질은 강철 및 주철 야금에 통상적으로 사용되는 하나 이상의 전이 요소를 포함하며, 이에는 Cr, Mn, Mo, V, W, Ni, 및/또는 Cu가 포함되나 이들로 한정되지는 않는다. 따라서, 마스터 합금 분말(110)은 하나 이상의 페로합금(ferroalloy), 예컨대, 페로망간(FeMn), 페로크롬(FeCr), 페로바나듐(FeV), 및/또는 페로몰리브늄(FeMo) 등을 포함할 수 있다. 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 이들 페로합금(이들 페로합금의 임의의 및 모든 조합을 포함함)의 하나 이상의 혼합물을 포함한다. 예를 들어, 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 FeMn 분말 블렌드(후술함) 및 FeCr 분말 블렌드(후술함)의 혼합물을 포함한다.

[0051] 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 (a) 적어도 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 및/또는 10중량%, (b) 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 및/또는 1중량% 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 2 내지 14중량%, 5 내지 10중량%)의 탄소 함량을 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 고탄소 함량의 페로합금의 사용은 합금 분말(110)의 효과적인 BJAM 인쇄를 용이하게 하여, 인쇄된 소자(130) 내로 포함된 탄소의 BJAM 도입을 용이하게 한다. 따라서, 페로합금은 인쇄된 소자(130)의 탄소 함량을 증가시키기 위한 탄소에 대한 효과적인 BJAM 인쇄 가능한 담체로서 기능한다.

[0052] 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 (a) 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 및/또는 9 um 미만, (b) 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 및/또는 30 um 초과, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 5 내지 70 um, 5 내지 45 um, 8 내지 12 um)의 D40, D50, D60, D70, 및/또는 D80 입자 크기를 갖는다.

[0053] 일 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 6.53% C, 75.3% Mn, 1.5% Si, 0.025% S, 및 0.18% P를 포함하며, D50은 8.1 um이고 D97은 20.76 um이다. 이하에서, 이 마스터 합금 분말은 (이 분말이 추가 성분을 포함한다는 사실에도 불구하고) FeMn 분말 블렌드로 지칭된다.

[0054] 일 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 8.7% C, 60.4% Cr, 2.7 % Si, 0.03 % S, 및 0.03 % P를 포함하며, D50은 8.2 um이고 D97은 22.18 um이다. 이하에서, 이 마스터 합금 분말은 (이 분말이 추가 성분을 포함한다는 사실에도 불구하고) FeCr 분말 블렌드로 지칭된다.

[0055] 대안적인 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 50% FeCr 분말 블렌드 및 50% FeMn 분말 블렌드를 포함한다. 대안적인 구현예에 따르면, 마스터 합금 분말(110)은 97% FeCr 분말 블렌드 및 3% FeMn 분말 블렌드를 포함한다. 그러나, 예를 들어, 적어도 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98, 및/또는 99% FeCr 분말 블렌드, 및/또는 적어도 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98, 및/또는 99% FeMn 분말 블렌드와 같은 임의의 분말 블렌드의 비율이 마스터 합금 분말(110)에 사용될 수 있다,

[0056] 다양한 구현예에 따르면, 원소 탄소(예를 들어, 흑연)를 통하기 보다는, 마스터 합금 분말(110)을 통한 탄소의 도입이 분말 블렌드(120)(및 결과적으로 인쇄된 소자(130)) 내에서 탄소 함량이 더 균일하게 혼합되고 분포되는 것을 촉진한다.

[0057] 다양한 구현예에 따르면, 지철 분말(100) 특정 응용분야에서 요구되는 특성을 달성하기 위해 적절하게 분말 블렌드(120)를 맞추기 위한 다양한 조합으로 은 마스터 합금 분말(110)과 블렌딩될 수 있다. 다양한 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)의 지철 분말(100) 함량은 (a) 적어도 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 및/또는 85%, (b) 95, 90, 85, 80, 75, 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 및/또는 35% 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 45 내지 95%, 55 내지 65%, 75 내지 85%)이다. 다양한 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)의 마스터 합금 분말(110) 함량은 (a) 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 및/또는 15% 미만, (b) 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 및/또는 65 % 초과, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 5 내지 65%, 35 내지 45%, 25 내지 35%)이다.

[0058] 다양한 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)는, 적어도 5, 10, 15, 20, 25중량%, 50, 45, 40, 35, 30중량% 미만, 및/또는 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 5 내지 50중량%, 10 내지 45중량%, 15 내지 35중량%)의 총 비-Fe 합금 함량(즉, 분말 블렌드(120)의 비철 성분(예를 들어, Cr, Mn, Mo, C 등을 포함함)의 누적 함량)을

갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)의 총 철 함량은 (a) 적어도 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 및/또는 95%의 Fe, (b) 5, 10, 15, 20, 및/또는 25% 미만의 Fe, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 상한 값과 하한 값 사이의 임의의 값(예를 들어, 50 내지 95%의 Fe, 55 내지 90%의 Fe, 65 내지 85%의 Fe)을 포함할 수 있다.

[0059] 다양한 구현예에 따르면, 블렌드 분말(120)은 (a) 적어도 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 및/또는 4중량%, (b) 6, 5.5, 5, 4.5, 4, 3.5, 3, 2.5, 2, 및/또는 1중량% 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 2 내지 5중량%, 2 내지 3.5중량%)의 탄소 함량을 갖는다.

[0060] 일 구현예(이하, 블렌드 코드 E2132로 지칭함)에 따르면, 블렌딩된 분말(120)은 약 20%의 FeCr 합금 분말(예를 들어, 28% Fe, 60% Cr, 9% C), 20%의 FeMn 합금 분말 블렌드(예를 들어, 17% Fe, 75% Mn, 6%C), 및 약 60%의 지철 분말(100)을 포함한다. 다양한 구현예에 따르면, 소결 후, E2132는 약 3.05%의 C, 15%의 Mn, 12%의 Cr, 0.84%의 Si, 및 약 70%의 Fe를 포함한다.

[0061] 대안적인 구현예(이하, 블렌드 코드 E2138로 지칭함)에 따르면, 블렌드 분말(120)은 약 30%의 FeCr 분말, 1%의 FeMn 분말, 및 약 69%의 지철 분말(100)을 포함한다. 다양한 구현예에 따르면, 소결 후, E2138은 약 2.7%의 C, 0.75%의 Mn, 18.1%의 Cr, 0.83%의 Si, 및 약 78%의 Fe를 포함한다.

[0062] 다양한 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)는 11~30%의 Cr, 0~2.5%의 Ni., 0~18%의 Mn, 0~3%의 Mo, 0~1.2%의 Cu, 2~5%의 C, 0~3% V를 포함하며, 나머지는 Fe와 불기피한 불순물이다.

[0063] 단계 2A/2B에서, 블렌드 분말(120)은, 3D 소자(130)를 형성하기 위해 함께 결합된 복수의 층으로 이루어진, 인쇄된 3D 소자로 BJAM 인쇄된다. 다양한 구현예에 따르면, 탄소는 원소 탄소(예를 들어, 흑연)를 통하기 보다는, 마스터 합금 분말(110)의 탄소 함량을 통해 소자(130) 내에 도입된다. 다양한 구현예에 따르면, 이는 원소 탄소(예를 들어, 흑연)를 BJAM 인쇄하는 어려운 공정을 방지하고/하거나, WA 철 분말이 더 높은 탄소 함량을 가지도록 변형시키는 것을 방지한다. 원소 탄소(흑연)는 매우 미세하고(예를 들어, 5~15 um) 먼지가 많으며 잘 블렌딩되지 않거나 흐르고 번지기 때문에, 원소 탄소를 단순히 분말로 블렌딩하는 것은 어렵거나 불가능할 것이다. 다양한 구현예에 따르면, 마스터 합금 형태로서 탄소를 첨가하면 분말 베드에서 블렌딩 및 확산이 가능해진다.

[0064] 단계 3A/3B에서, 인쇄된 소자(130)은 경화되고 탈분말화되어 성형된 소자(140)를 형성한다. 다양한 구현예에 따르면, 성형된 소자(140)의 밀도는 (a) 적어도 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 및/또는 60%, (b) 65%, 60%, 55%, 50%, 45%, 및/또는 40% 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 30% 내지 65%, 30% 내지 60%, 35% 내지 55%, 40% 내지 60%)이다. 다양한 구현예에 따르면, 성형된 소자(140)의 밀도는 분말 블렌드(120)의 입자 크기 분포의 함수이고, 분말 블렌드(120)의 겉보기 밀도에 비교적 가깝다(예를 들어, 다양한 비제한적 구현예에 따른 3 g/cc 내지 4 g/cc의 범위).

[0065] 단계 4A/4B에서, 성형된 소자(140)는 초 고상선 소결되어 조밀화된 소결된 소자(150)를 형성한다. 초 고상선 소결은 상이한 백분율로 존재하는 액상(liquid phase)과 고상(solid phase)을 조합시킨다. 액상 물질은 소자의 수축과 조밀화에 도움이 되는 한편, 고상 물질은 소자의 형상을 유지하고 슬럼핑(slumping)을 방지하는 데 도움이 된다.

[0066] 다양한 구현예에 따르면, 초 고상선 소결(super solidus sintering)은 1100 내지 1400℃의 온도에서 이루어진다. 다양한 구현예에 따르면, 소결 온도는 소자(140)의 성분의 초 고상선 온도(즉, 소자(140)의 상도에 기초한 초 고상선 범위)에 상응하도록 선택된다. 소결 온도가 증가하면, 탄소는 국부적으로 액상을 형성할 때까지 확산되는데, 이는 합금 요소가 철과 상호 확산(interdiffusion)되는 것을 촉진한다. 가장 높은 온도에서, 일정 비율의 액상이 남는데, 이는 추가로 입자 통합과 소결, 기공 라운딩(pore rounding), 조밀화, 및 탄소와 합금의 균질화를 가속화한다.

[0067] 소결 온도는 소자의 형상을 유지하기 위해 충분한 고상 물질을 유지하면서, 액상 물질을 증가시키도록 균형을 이룰 수 있다. 하나 이상의 구현예에 따르면, 소결은 도 2에 도시된 음영 처리된 초 고상선 온도 구역에서 이루어진다. 도 2의 상도는 Fe-C에만 해당되며, 단지 예시를 위해 제공된다. 합금(예를 들어, 전이 금속)의 첨가는 실제 합금 분말의 상도를 변경시키게 된다.

[0068] 다양한 구현예에 따르면, 소결은 (a) 적어도 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,, 및/또는 92%, (b) 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 80% 내지 99%, 85% 내지 95%, 90% 내지 95%)의 밀도를 갖는 소결된 소자(150)를 형성하도록, 성형된 소자(140)를 수축시

키고 조밀화시킨다. 다양한 구현예에 따르면, 이러한 밀도는 소결-후 물질의 용침 없이 달성된다.

[0069] 다양한 구현예에 따르면, 소결은 성형된 소자(150)의 (a) 적어도 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 및/또는 30%, (b) 40, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 및/또는 18% 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 15% 내지 40%, 20% 내지 27%, 15% 내지 25%)의 선형 수축을 초래한다.

[0070] 단계 5A에서, 소결된 금속 소자(150)는 (예를 들어, 기계 가공, 연마 등을 통해) 마무리되어 열처리되지 않은 최종 금속 소자(160)를 형성한다. 그러나, 다양한 구현예에 따르면, 마무리 단계는 생략되고, 소결된 금속 소자(150)가 최종 금속 소자이다.

[0071] 다양한 구현예에 따르면, 소자(160)는 (a) 적어도 25, 30, 35, 40 및/또는 45 HRC, (b) 55, 50, 45, 40, 및/또는 35 HRC 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 25 내지 55 HRC, 30 내지 50 HRC, 35 내지 45 HRC)의 경도를 갖는다.

[0072] 다양한 구현예에 따르면, 소자(160)는 카바이드 상 부분보다 더 부드러운 오스테나이트 기질에 포매된 비교적 단단한 카바이드 상 부분을 함유하는 미세구조를 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 소자(160)는 내마모성(wear resistance)과 인성(toughness)의 양호한 조합을 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 카바이드 상 부분은 1000~1700 HV0.1의 마이크로 경도를 가지며, 기질은 250~800 HV0.1 및/또는 250~350 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다.

[0073] 하나 이상의 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)는 E2132이고, 소결은 약 1180℃에서 이루어져 약 23%의 선형 수축을 초래하며, 소자(160)의 소결 후(예를 들어, 열처리되지 않은) 경도는 약 37.0 HRC이고, 카바이드 상 부분의 마이크로 경도는 약 1089 HV0.1이고, 기질(예를 들어, 오스테나이트)의 마이크로 경도는 313 HV0.1이며, 소자(160)의 항절력(Transverse Rupture Strength, TRS)은 약 1373 MPa이다.

[0074] 대안적으로, 단계 5B로 나타낸 바와 같이, 소결된 금속 소자(150)는 열 처리될 수 있다(예를 들어, 경화, 퀜칭).

[0075] 도 1에는 도시되지 않았지만, 소결된 금속 소자(150)는 열 처리 단계(5B) 전에 마무리/기계 가공될 수 있다. 다양한 구현예에 따르면, 이러한 마무리/기계 가공은 열 처리 전에 하기가 더 쉽다. 마무리/기계 가공은 소자(150)를 최종 소자(200)의 원하는 형상 및 허용 오차에 맞추도록 수행될 수 있다.

[0076] 단계(6B)에서, 열처리된 금속 소자가 마무리되어 최종 열처리된 금속 소자(200)를 형성한다. 그러나, 다양한 구현예에 따르면, 마무리 단계는 생략되고, 열처리된 금속 소자가 최종 금속 소자이다.

[0077] 다양한 구현예에 따르면, 소자(200)는 경질 마르텐사이트 기질에 포매된 경질 카바이드 상 부분을 함유하는 미세구조를 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 소자는 우수한 내마모성과 높은 경도를 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 소자(200)의 카바이드 상 부분은 1000 내지 1700 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 소자(200)의 기질은 600 내지 800 HV0.1의 마이크로 경도를 갖는다. 다양한 구현예에 따르면, 상기 열처리하는 단계 이후, 금속 소자(200)는 ASTM G65-10 절차 A에 따라 부피 손실이 100 mm^3 이하가 되도록 내마모성을 갖는다.

[0078] 다양한 구현예에 따르면, 소자(200)는 (a) 적어도 40, 45, 50, 55, 및/또는 60 HRC, (b) 80, 75, 70, 65, 및/또는 60 HRC 미만, 및/또는 (c) 임의의 2개의 이러한 값 사이(예를 들어, 40 내지 80 HRC, 50 내지 60 HRC, 55 내지 65 HRC)의 경도를 갖는다.

[0079] 하나 이상의 구현예에 따르면, 분말 블렌드(120)는 E2138이고, 소결은 약 1300℃에서 이루어져 약 7.50 g/cc의 밀도를 초래하며, 소결된 소자(150)는 중성 경화를 통해 열처리되고, 열처리 후 소자(200)의 경도는 약 60 HRC이고, 카바이드 상 부분의 마이크로 경도는 약 1550 HV0.1이며, 마르텐사이트 기질의 마이크로 경도는 690 HV0.1이다. 그러나, 대안적인 실시예에 따르면, E2138 분말 블렌드(120)는 대안적으로 열 처리 단계를 생략한 공정에 사용되어, 페라이트/펄라이트 기질(ferritic/pearlitic matrix)에 포매된 카바이드 상을 갖는 E2138로 만들어진 최종 금속 소자(160)를 제공할 수 있다.

[0080] 구체적으로 달리 언급하지 않는 한, 모든 함량 및 백분율은 중량을 기준으로 한다. 따라서, 5%는 5중량%(wt%)를 의미한다.

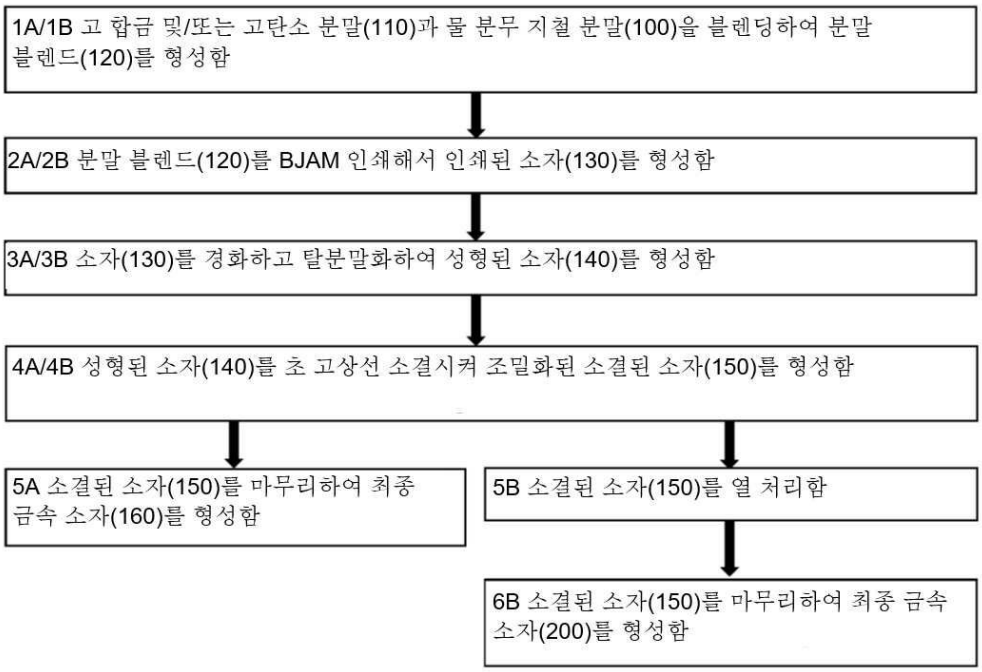
[0081] 다양한 구현예에 따르면, 소자(150, 160, 200)는, 미국 특허 제3,055,441호 또는 제2,061,807호(이들 모두의

전체 내용은 참조로서 본원에 통합됨)에 개시된 록 드릴(rock drill)의 임의의 소자를 포함하되 이에 한정되지 않는 록 드릴의 하나 이상의 소자(예: 라이플 너트(rifle nut, 210)(도 3 참조), 스플라인 너트(splined nut), 라이플 피스톤(rifle piston), 척(chuck) 등)를 포함할 수 있다. 다양한 구현예에 따르면, 소자(150, 160, 200)는 미국 특허 제5,797,724호(그 전체가 참조로서 본원에 통합됨)에 개시된 슬러리 펌프의 임의의 소자를 포함하되 이에 한정되지 않는 슬러리 펌프의 하나 이상의 소자(예: 회전자(rotor), 베인(vane), 임펠러(impeller), 펌프 하우징, 벌루트(volute))를 포함할 수 있다.

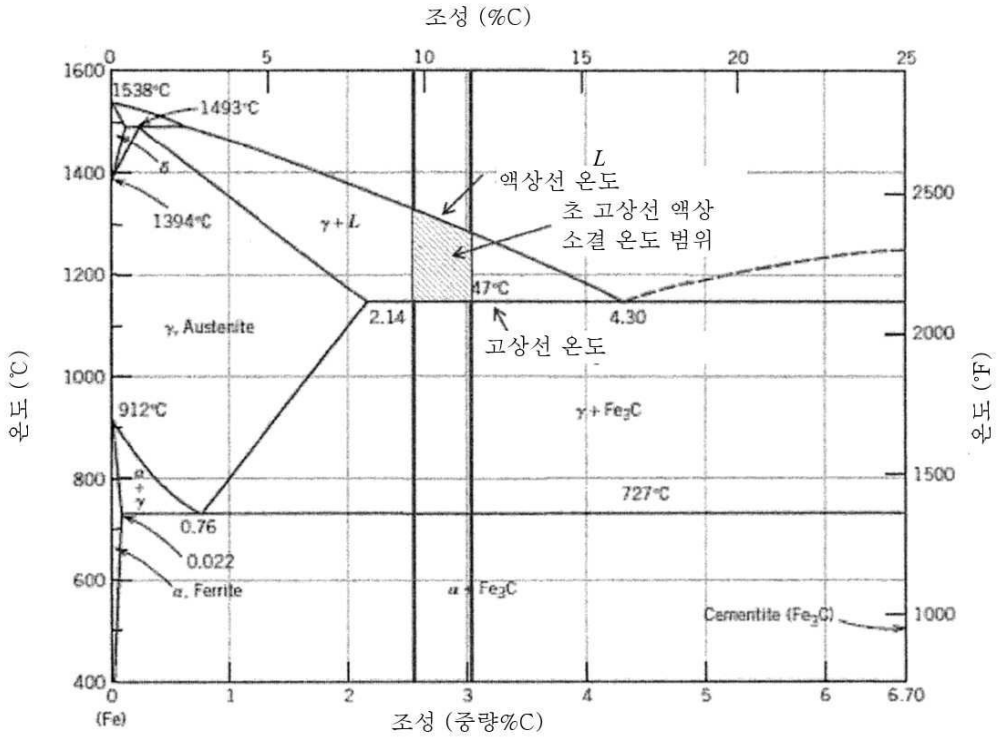
[0082] 예시된 전술한 구현예들은 다양한 구현예의 구조적 및 기능적 원리를 예시하기 위해 제공된 것이며 한정하도록 의도되지 않는다. 반대로, 본 발명의 원리는 본 발명의 임의의 모든 수정, 변경 및/또는 치환(예를 들어, 다음의 청구범위의 사상 및 범주 내의 임의의 변경)을 포함하도록 의도된다.

도면

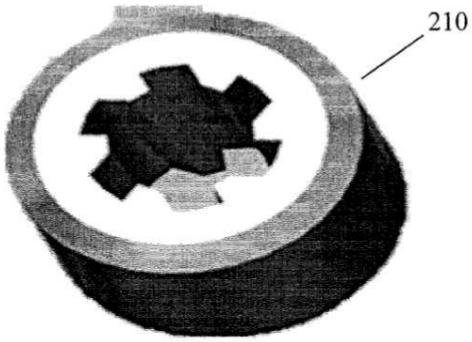
도면1



도면2


조성 (%C)
온도 (℃)
온도 (℉)
1538℃
1493℃
δ
1394℃
γ + L
L
액상선 온도
초 고상선 액상
소결 온도 범위
1147℃
2.14
4.30
고상선 온도
γ, Austenite
912℃
γ + Fe3C
727℃
0.76
0.022
α, Ferrite
α + Fe3C
Cementite (Fe3C)
(Fe)
조성 (중량%C)

도면3


210