



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2016-0118342  
(43) 공개일자 2016년10월11일

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/> <i>B23P 6/00</i> (2006.01) <i>B22F 3/105</i> (2006.01)<br/> <i>B23K 25/00</i> (2006.01) <i>B23K 26/342</i> (2014.01)<br/> <i>B23K 35/02</i> (2006.01) <i>B23K 35/36</i> (2006.01)<br/> <i>B33Y 10/00</i> (2015.01) <i>B23K 101/00</i> (2006.01)<br/> <i>B23K 103/08</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/> <i>B23P 6/002</i> (2013.01)<br/> <i>B22F 3/105</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-7024657<br/>                 (22) 출원일자(국제) 2015년01월29일<br/>                 심사청구일자 2016년09월07일<br/>                 (85) 번역문제출일자 2016년09월06일<br/>                 (86) 국제출원번호 PCT/US2015/013393<br/>                 (87) 국제공개번호 WO 2015/119822<br/>                 국제공개일자 2015년08월13일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>                 14/175,525 2014년02월07일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/> <b>지멘스 에너지, 인코포레이티드</b><br/>                 미국 플로리다주 올랜도 알라파야 트레일 4400 (우: 32826-2399)</p> <p>(72) 발명자<br/> <b>부르크, 제랄드, 제이.</b><br/>                 미국 29579 사우스캐롤라이나 머틀 비치 카센티노 코트 5168<br/> <b>카멜, 아메드</b><br/>                 미국 32828 플로리다 올랜도 기아나 플럼 드라이브 2439<br/> <b>주이니, 다퍼</b><br/>                 미국 32828 플로리다 올랜도 브리스틀 레이크 씨클 16109</p> <p>(74) 대리인<br/> <b>특허법인 남앤드남</b></p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

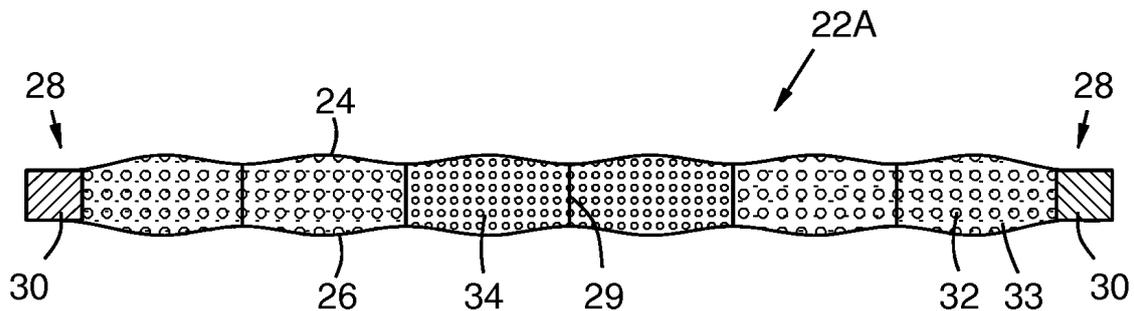
전체 청구항 수 : 총 32 항

(54) 발명의 명칭 **금속 및 플럭스의 프리폼들을 이용한 초합금 솔리드 자유형상 프리폼 제작 및 보수**

**(57) 요약**

보수되거나 적층 가공될 컴포넌트에 추가될 금속 층을 형성하기 위해서 금속(32, 34) 및 플럭스(33)를 포함하는 프리폼(22, 22A 내지 22U). 금속은 프리폼을 용융시키는 에너지 빔(58)에 응답하여 컴포넌트의 표면 보수 또는 단면 층의 형상을 형성하는 분포로 프리폼에서 제한될 수 있다. 프리폼은, 작업 표면(42) 상에 배치되며, 이 표면은 적층 가공에 있어서 미리 형성된 층(42A 내지 42C)일 수 있거나 보수를 위한 기존의 컴포넌트 표면(122)일 수 있다. 이후, 프리폼은 벨트 풀(54) 및 응고 층을 차폐 및 절연하는 슬래그(56)의 오버-레이(over-layer)를 갖는 컴포넌트 상에 새롭게 통합된 층(40A 내지 40F)을 형성하도록 에너지 빔(58)에 의해 용융된다. 슬래그는 제거되고, 후속 층은 추가될 수 있다

**대표도** - 도3



(52) CPC특허분류

*B23K 25/005* (2013.01)

*B23K 26/342* (2015.10)

*B23K 35/0255* (2013.01)

*B23K 35/36* (2013.01)

*B23P 6/007* (2013.01)

*B33Y 10/00* (2013.01)

*B23K 2201/001* (2013.01)

*B23K 2203/08* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

프로세스(process)로서,

금속 및 플럭스(flux)를 포함하는 프리폼(preform)을 형성하는 단계—상기 금속은 금속 컴포넌트(component)의 금속 층의 소망하는 형상에 응답하여 상기 프리폼에 분배됨—;

작업 표면 상에 상기 프리폼을 배치하는 단계;

상기 금속을 용융시키기 위해서 상기 프리폼 상에 에너지 빔(energy beam)을 지향시켜 슬래그 층(slag layer)에 의해 오버레이된(overlaid) 금속 층을 형성하는 단계; 및

상기 슬래그 층을 제거하는 단계를 포함하는,

프로세스.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금속 및 플럭스의 구속되지 않은 입자들(unbound particles)을 에워싸는 컨테이너(container)로서 상기 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 컨테이너를 복수 개의 구획들(compartments)로 파티셔닝하는(partitioning) 단계를 더 포함하고, 상기 구획들 중 적어도 첫번째 구획은 상기 금속 및 플럭스의 구속되지 않은 입자들을 에워싸는,

프로세스.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

비금속성 에너지 빔을 차단하는(blocking) 재료를 상기 구획들 중 적어도 두번째 구획에 로딩하는(loading) 단계를 더 포함하는,

프로세스.

#### 청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 구획들 중 적어도 하나의 구획에 드라이 아이스(dry ice)를 포함하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

복수 개의 구획들 내로 파티셔닝된 컨테이너로서 상기 프리폼을 형성하는 단계;

제 1 평균 입자 직경을 갖는 금속을 포함하는 제 1 입자들을 상기 구획들 중 제 1 구획에 로딩하는 단계; 및

상이한 제 2 평균 입자 직경을 갖는 금속을 포함하는 제 2 입자들을 상기 구획들 중 제 2 구획에 로딩하는 단계

를 더 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,  
사이에서 금속 및 플럭스의 입자들을 에워싸는 대향된 제 1 및 제 2 벽들을 갖는 컨테이너로서 상기 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 벽들은 비금속성 에너지 빔 차단 재료의 둘레 프레임(peripheral frame)에 밀봉되는 각각의 둘레부들을 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,  
공동 부착된 일련의 튜브들(tubes)로부터 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 튜브들 중 적어도 하나의 튜브는 상기 금속 및 플럭스의 제 1 입자들을 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서  
상기 튜브들 중 적어도 제 2 튜브는 비금속성 에너지 빔 차단 재료를 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,  
제 1 적층 가공(additive manufacturing) 재료의 입자들을 포함하는 공동 부착된 튜브들의 제 1 층 및 제 2 적층 가공 재료의 입자들을 포함하는 공동 부착된 튜브들의 제 2 층을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 11

제 10 항에 있어서,  
상기 제 1 적층 가공 재료는 금속 대 세라믹 접합 코트 재료(metal-to-ceramic bond coat material)를 포함하며, 상기 제 2 적층 가공 재료는 세라믹 열적 배리어 재료(ceramic thermal barrier material)를 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 12

제 10 항에 있어서,  
상기 에너지 빔을 지향시키는 단계 이전에 상기 프리폼을 맨드릴(mandrel)에 컨포밍하는(conforming) 단계를 더 포함하고, 상기 맨드릴은 상기 금속 컴포넌트의 휘어진 외부 벽을 형성하도록 성형되는 작업 표면을 포함하는,  
프로세스.

#### 청구항 13

제 1 항에 있어서,  
상기 에너지 빔을 지향시키는 단계 이전에 분할된 플레이트(split plate)의 분리가능한 섹션들(separable sections)에 의해서 둘러싸이는 캐비티(cavity)에 상기 프리폼을 배치시키는 단계를 더 포함하고, 상기 캐비티는 상기 금속 컴포넌트의 외부 표면의 형상을 규정하는,

프로세스.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

복수 개의 금속 층들을 형성하기 위해서 형성 단계, 배치 단계, 지향 단계 및 이동 단계들을 반복하는 단계; 및 금속 컴포넌트의 높이에 걸쳐 복수 개의 층들의 결정 구조를 제어하도록 제각기 상이한 열 전도계수들을 갖는 복수 개의 분할된 플레이트들을 사용하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

**청구항 15**

제 1 항에 있어서,

상기 에너지를 지향시키는 단계 이전에 상기 프리폼에 에너지 차단 재료의 블록(block)을 제공하는 단계, 및 층의 응고 이후에 블록을 제거하여, 이에 의해 층에 그루브(groove) 또는 함몰부를 형성하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

**청구항 16**

제 1 항에 있어서,

상기 에너지를 지향시키는 단계 이전에 상기 프리폼에 에너지 차단 재료의 내부 블록을 제공하는 단계—상기 내부 블록은 제 1 금속을 포함하는 캐비티를 포함함—, 및 상기 층의 응고 이후에 블록을 제거하여 이에 의해 상기 그루브에 제 2 금속의 칼럼을 갖는 층에 그루브를 형성하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

**청구항 17**

제 1 항에 있어서,

구속되지 않은 미립자 형태(particulate form)로 금속을 제공하는 단계, 적어도 40 %의 공극률(void fraction)을 갖는 개방 기공률(open porosity)을 포함하는 프리폼에 예비소결된 금속의 내부 블록들을 제공하는 단계를 더 포함하고, 상기 블록들은 상기 프리폼에 평행한 선들 또는 평행한 곡선들로 배열되는,

프로세스.

**청구항 18**

제 1 항에 있어서,

상기 프리폼에 서모크로메틱 재료(thermochromatic material)를 제공하는 단계를 더 포함하고, 상기 금속 컴포넌트 중 적어도 일부는 그의 제작 후에 서모크로메틱 재료를 포함하는,

프로세스.

**청구항 19**

제 1 항에 있어서,

상기 프리폼에 압전 재료(piezo-electric material)를 제공하는 단계를 더 포함하고, 상기 금속 컴포넌트 중 적어도 일부는 그의 제작 후에 압전 재료를 포함하는,

프로세스.

**청구항 20**

제 1 항에 있어서,

상기 금속 층을 구성하는 최종 조합금 재료를 생성하도록 용융 단계 동안 조합하는 상이한 조성들의 입자들로

금속을 구성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 21**

제 1 항에 있어서,  
가스 터빈 블레이드 스켈러 팁(gas turbine blade squealer tip)의 적어도 일부분의 형상에 상기 프리폼의 금속을 분배하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 22**

제 1 항에 있어서,  
상기 금속 및 플럭스의 방전 플라즈마 소결(spark plasma sintering)에 의해서 상기 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 23**

제 22 항에 있어서,  
상기 프리폼에서 2 개의 각각의 구별되는 층들로서 상기 금속 및 플럭스를 형성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 24**

제 22 항에 있어서,  
제 1 금속 합금의 제 1 층, 제 2 금속 합금의 제 2 층 및 플럭스의 제 3 층을 갖는 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 25**

제 1 항에 있어서,  
상기 작업 표면은 금속 컴포넌트의 열화된 표면이며,  
상기 작업 표면의 파손된 부분을 제거하기 위해서 상기 작업 표면에 함몰부를 생성하는 단계;  
상기 함몰부에 상기 프리폼을 배치하는 단계; 및  
보수된 표면을 형성하도록 상기 에너지 빔에 의해 상기 프리폼을 용융시키는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 26**

제 25 항에 있어서,  
미리 정해진 보수 형상으로 상기 프리폼을 형성하는 단계; 및  
상기 프리폼의 수용을 위해 미리 정해진 보수 형상에 응답하여 작업 표면에 함몰부를 생성하는 단계를 더 포함하는,  
프로세스.

**청구항 27**

제 1 항에 있어서,

3 mm를 초과하는 두께가 되게 상기 금속 층을 형성하도록 상기 프리폼에 상기 금속 분말을 분배하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

**청구항 28**

제 1 항에 있어서,

알루미늄(aluminum) 함량에 대한 티타늄(titanium) 함량을 플로팅하는(plotting) 초합금들의 그래프(graph) 상에서 규정된 용접 가능 존(zone)을 넘는 초합금 조성으로 상기 금속을 제공하는 단계를 더 포함하며, 상기 용접 가능 존은 6 중량%에서 티타늄 함량 축을 교차하며 3 중량%에서 알루미늄 함량 축을 교차하는 선에 의해서 상한이 정해지는(upper-bounded),

프로세스.

**청구항 29**

제 1 항에 있어서,

알루미나(alumina), 실리카(silica) 또는 알루미늄 포일(aluminum foil)을 포함하는 컨테이너로서 상기 프리폼을 형성하는 단계를 더 포함하는,

프로세스.

**청구항 30**

금속 및 플럭스를 포함하는 적층 가공에 의해 컴포넌트의 층을 제작하기 위한 프리폼으로서,

상기 금속은 에너지 빔에 의한 상기 프리폼의 용융에 응답하여 금속 컴포넌트의 금속 층의 소망하는 형상을 생성하는 분포로 상기 프리폼에서 제한되는,

금속 및 플럭스를 포함하는 적층 가공에 의해 컴포넌트의 층을 제작하기 위한 프리폼.

**청구항 31**

제 30 항에 있어서,

상기 금속 및 플럭스는 구속되지 않은 미립자 형태이며, 상기 프리폼은 소망하는 형상을 생성하도록 상기 금속 및 플럭스의 분포를 제한하는 폐쇄된 컨테이너를 더 포함하는,

금속 및 플럭스를 포함하는 적층 가공에 의해 컴포넌트의 층을 제작하기 위한 프리폼.

**청구항 32**

제 30 항에 있어서,

상기 금속 및 플럭스는 상기 금속 및 플럭스의 방전 플라즈마 소결에 의해서 상기 프리폼에서 제한되는,

금속 및 플럭스를 포함하는 적층 가공에 의해 컴포넌트의 층을 제작하기 위한 프리폼.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 일반적으로 금속 컴포넌트들(metal components)의 솔리드 자유형상(solid freeform) 제작 및 보수 분야에 관한 것이며, 특히, 고온 초합금 컴포넌트들의 첨가적 층(additive layer) 제작 및 보수에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 산업은, 완전하게 기능성 금속 부품들을 제조하기 위해서 솔리드 자유형상 제작(SFF; Solid Freeform Fabrication) 기술들을 점점 더 사용하고 있다. 이러한 적층 가공 프로세스들(additive manufacturing

processes)의 패밀리(family)는, 재료(예컨대, 분말 및 와이어(wire))의 층방식(layer-wise) 축적 및 압밀(consolidation)을 포함하며, CAD 모델(model)로부터 직접적으로 고도의 기하학적 자유도로 부품들이 제조되는 것을 허용한다. 직접 금속 레이저 제작(DMLF; direct metal laser fabrication)으로서 공지된 SFF 기술들의 그룹(group)은 분말을 압밀하기 위해서 레이저들을 사용한다. 다른 그룹들은 텅스텐 불활성 가스(TIG; tungsten inert gas), 금속 불활성 가스(MIG; Metal inert gas) 또는 전자 빔(beam) 기술들을 사용한다.

[0003] 적층 가공은 컴포넌트가 층들로 컴포넌트를 빌딩(building)함으로써 제작되는 것을 가능케 한다. 각각의 층은 이전 층 상에 용융되거나, 소결되거나, 다른 방식으로 통합된다. 각각의 층은 컴포넌트의 수치적인 솔리드 모델(numeric solid model)의 슬라이스(slice)로서 모델링될(modeled) 수 있다. 초합금 재료들은 멜트(melt) 응고화 크래킹(cracking) 및 변형 시효 크래킹(strain age cracking)에 대한 이들의 민감성으로 인해 제작 및 보수가 가장 어려운 재료들 중 하나이다. 용어 "초합금"은, 당 분야에서 보편적으로 사용되는 바와 같이 본원에서 사용되며; 즉, 고온들에서 탁월한 기계적 강도 및 크리프 내성(resistance to creep)을 갖는 내부식 및 내산화성이 높은 합금이다. 초합금들은 전형적으로 높은 니켈(nickel) 또는 코발트(cobalt) 함량을 포함한다. 초합금들의 예들은, Hastelloy, Inconel 합금들(예컨대, IN 738, IN 792, IN 939), Rene 합금들(예컨대, Rene N5, Rene 80, Rene 142), Haynes 합금들, Mar M, CM 247, CM 247 LC, C263, 718, X-750, ECY 768, 282, X45, PWA 1483 및 CMSX(예컨대, CMSX-4) 단결정 합금들의 상표명들 및 브랜드 네임(brand name)들로 시판중인 합금들을 포함한다.

[0004] 초합금 컴포넌트들의 용접 보수는, 보수 중 재료의 연성을 증가시키기 위해 높은 온도(예컨대, 1600°F 초과 또는 870°C 초과)에서 기재(substrate)를 예열함으로써 성취되었다. 이러한 기술은, 핫 박스(hot box) 용접 또는 상승된 온도에서의 초합금 용접(SWET: superalloy welding at elevated temperature)으로서 지칭된다. 이는 보편적으로 수동 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW; gas tungsten arc welding)을 사용하여 수행된다. 그러나, 핫 박스 용접은, 균일한 컴포넌트 프로세스 표면 온도 유지의 어려움 및 완벽한 불활성 가스 차폐 유지의 어려움에 의해 그리고 높은 온도들에서 컴포넌트에 근접하여 작업하는 작업자에게 부과되는 신체적 어려움들에 의해 제한된다.

[0005] 일부 초합금 용접 적용들은, 기재 재료의 가열을 제한하기 위해서 칠 플레이트(chill plate)를 사용하고; 이에 의해 크래킹(cracking) 문제들을 유발하는 기재 열 영향력들 및 응력들의 발생을 제한함으로써 개선될 수 있다. 그러나, 이러한 기술은, 부품들의 기하학적 형상이 칠 플레이트의 사용을 용이하게 하지 않는 많은 보수 적용들에서는 실용적이지 않다.

**발명의 내용**

[0006] 도 1은 다양한 합금들의 알루미늄(aluminum) 및 티타늄(titanium) 함량의 함수로써 다양한 합금들의 상대적 용접성을 예시한다. 이러한 엘리먼트들(elements)의 비교적 낮은 농도들을 가지며, 이에 따라 비교적 낮은 감마 프라임(gamma prime) 함량을 갖는 Inconel® IN718과 같은 합금들이 비교적 용접 가능한 것으로 고려되고 있지만, 이러한 용접은 일반적으로 컴포넌트의 낮은 응력 구역들로 제한된다. 이러한 엘리먼트들의 비교적 높은 농도들을 갖는 Inconel® IN939와 같은 합금들은 전통적으로 용접 가능한 것으로 고려되지 않거나, 또는 프로세스의 입열(heat input)을 최소화하며 재료의 온도/연성을 증가시키는 상기 논의된 특별한 절차들에 의해서만 용접될 수 있다. 파선(18)은 용접 가능 존(zone)의 인지된 상부 경계(upper boundary)를 나타낸다. 파선(18)은, 수직 축 상에서 3 중량%의 알루미늄 및 수평 축 상에서 6 중량%의 티타늄과 교차한다. 용접 가능 존의 외부측 합금들은, 전통적인 프로세스들에 의해 용접하기 매우 어렵거나 불가능한 것으로 인지되며, 알루미늄 함량이 가장 높은 합금들은 화살표로 나타내는 바와 같이 용접하기 가장 어려운 것으로 일반적으로 발견되었다.

[0007] 선택적 레이저 용융(SLM : selective laser melting)의 DMLF 프로세스는 보수들을 위해서 초합금 기재 상에 초합금 분말 입자들의 박층을 용융시키고 그리고 솔리드 자유형상 제작을 위해 연속적인 층들에서 이러한 입자들의 얇은 베드들(thin beds)을 용융시키는데 사용되고 있다. 멜트 풀(melt pool)은 레이저 가열 중, 아르곤(argon)과 같은 불활성 가스(inert gas)에 의해서 분위기로부터 차폐된다. 이러한 프로세스들은, 증착되는 재료의 층 내에서 입자들의 표면 상에 산화물들(예컨대, 알루미늄 및 크롬(chromium) 산화물들)을 트래핑하는(trap) 경향이 있어, 기공률, 개재물(inclusion) 및 트래핑된(trapped) 산화물들과 연관된 다른 결함들을 유발한다. 후처리 열간 정수압 소결법(HIP: hot isostatic pressing)은 적층된 코팅(coating)의 특징들의 개선을 위해서 이러한 공극들, 개재물들 및 크랙(crack)들을 붕괴시키는데 종종 사용된다.

[0008] 선택적 레이저 용융(SLM)은 분말을 용융시켜 솔리드 크로스 섹션(solid cross section)을 형성하는 재료의 압밀된 층으로서 응고되는 멜트 풀을 형성하도록 국부화된 레이저 열의 적용에 의한 분말 베드에서의 금속성 입자들

의 퓨징(fusing)이다. 레이저 방사와 금속 분말의 상호작용이 발생할 때, 에너지 침착(energy deposition)은 분말 결합 기구(powder-coupling mechanism)에 크게 의존한다. 분말 입자들 사이의 다중 반사들(multiple reflections)은, 솔리드 재료에 비교해서 더 높은 광 침투 깊이들(optical penetration depths)을 유발한다. 그러나, SLM 버전들(versions)은 하기의 문제점들 중 일부 또는 전부를 가지고 있다:

- [0009] a) 레이저 프로세싱(processing) 동안 중력에 의해서 분말을 리테이닝(retain)하도록 챔버(chamber)의 수평한 평탄 표면 상에서의 프로세싱으로 제한됨.
- [0010] b) 도 1에 도시된 바와 같은 용접 가능한 재료들로 제한됨.
- [0011] c) 각각의 층이 얇아야 하기 때문에, 이를테면 20 마이크로미터(micron)이어야 하기 때문에, 느린 프로세스. 더 두꺼운 층들을 사용하면, 크래킹을 유발할 수 있는 더 높은 에너지(energy) 밀도를 필요로 할 것이다.
- [0012] d) 산화를 회피하기 위해서 불활성 차폐 가스를 필요로 함.
- [0013] e) 크래킹을 회피하기 위해서 기재 및/또는 분말의 예열을 필요로 함.
- [0014] f) 사용가능한 에너지 밀도가 제한됨. 에너지 밀도의 증가는 더 큰 용융도(degree of melting)를 유발하며, 이는 재료가 일관된 층을 빌딩(build)하기보다 오히려 구형 볼들(spherical balls)을 형성하게 한다.
- [0015] g) 공동들(voids) 및 오염물들을 제거하기 위해서 열간 정수압 소결법(HIP) 및 샷 피닝(shot peening)과 같은 후처리 작업들을 필요로 함.
- [0016] h) 프로세스는 분말 제조 방법에 대해 상당히 민감하다.
- [0017] 레이저 클래딩은 보편적으로 사용되는 대안적인 SFF 프로세스이다. 보수 또는 적층 가공을 위한 금속 층을 형성하기 위해서 기재의 표면 상에 금속성 필러 재료(metallic filler material)를 적층하는 것이 전형적으로 사용된다. 레이저는 기재의 표면을 용융시켜 멜트 풀을 형성하고 이 멜트 풀 내로 금속성 필러 재료가 연속적으로 주입되어, 이에 의해 표면 상에 금속 층 또는 "클래드(clad)"를 형성한다. 레이저 클래딩의 대안적인 형태는 기재의 표면 상에 선배치되는 분말을 사용한다. 레이저 클래딩의 다양한 버전들은 하기 문제점들 중 일부 또는 전부를 가지고 있다:
  - [0018] a) 각각의 층이 얇아야 하기 때문에, 이를테면 0.5 mm이어야 하기 때문에, 느린 프로세스.
  - [0019] b) 도 1에 도시된 바와 같이 용접이 어려운 재료들에 대해서는 더욱더 느림.
  - [0020] c) 산화를 회피하기 위해서 불활성 차폐 가스를 필요로 함.
  - [0021] d) 크래킹을 회피하기 위해서 기재의 높은 예열 또는 신속한 냉각을 필요로 함.
  - [0022] e) 일부 경우들에서는, 분말 제조 방법에 대해 민감성이 존재한다.
- [0023] 신규의 초합금들이 계속해서 개발됨에 따라, 초합금 재료들을 위한 상업적으로 실현 가능한 결합 프로세스들을 개발하기 위한 도전이 계속해서 늘어난다. 이러한 결합 프로세스들은 초합금들을 위한 보수 및 SFF 적용들 상에서 직접적인 영향을 미친다. 선택적 레이저 용융 및 선택적 클래딩 양자 모두는 레이저 커플링 효율(laser coupling efficiency)에 의존하는데, 이 레이저 커플링 효율은 많은 인자들(factors)(그 중에서도 분말 크기, 분말 품질 및 레이저 에너지 밀도임)에 의존한다. 전형적인 분말 기반 프로세스들에서 사용되는 분말 크기들은, 플라즈마 용사(plasma spray), 고속 화염 용사(HVOF; high velocity oxygen fuel spray), 저압 플라즈마 용사(LPPS; low pressure plasma spray), 콜드 가스 용사(cold gas spray), 선택적 레이저 용융(SLM; selective laser melting), 연소 용사(combustion spray), 플라즈마 이송식 아크 용사(plasma transferred arc spray), 및 레이저 클래딩(laser cladding)을 위해서 도 2에 도시된다. 유용한 분말 크기 분포는, 프로세스에서 상이하하며, 특히 SLM과 레이저 클래딩 사이에서 구별된다. 이는, 레이저 커플링의 최적화 그리고 다른 이유들을 위해 특정 크기들의 맞춤형 양자 모두의 관점에서 초합금들의 SFF를 위한 이들 프로세스들 각각에 대한 제한을 구성한다. 입자들이 더 크면 더 작은 표면적으로 인해서 프로세스 산화가 감소한다. 입자들이 더 작으면 컴포넌트에서의 구조적 피쳐들(features)의 더욱 미세한 규정(finier definition)을 제공한다. 따라서, 초합금 SFF 프로세스 최적화를 위해 더 큰 범위의 입자 크기들이 유용할 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0024] 본 발명은 도시되는 도면들을 고려하여 하기 설명에서 설명된다:

- 도 1은 다양한 초합금들의 상대적 용접성을 예시한다.
- 도 2는 기존 첨가적 프로세스들(additive processes)을 위한 입자 크기들의 범위들을 예시한다.
- 도 3은 본 발명의 실시예의 양태들을 도시하는 프리폼(preform)의 측단면도이다.
- 도 4는 이중벽 가스 터빈 블레이드(gas turbine blade)의 횡방향 단면도이다.
- 도 5는 도 4의 블레이드의 층을 생성하기 위한 프리폼의 최상부 단면도이다.
- 도 6은 본 발명의 양태들에 따른 솔리드 자유형상 제조의 프로세스를 예시한다.
- 도 7은 상이한 첨가적 층들을 위해 상이한 재료들을 포함하는 튜브들(tubes)로 만들어진 프리폼의 단면 사시도이다.
- 도 8은 프리폼들(preforms)을 컨포밍하여(conforming) 감싸지는(wrapped) 맨드릴(mandrel)의 횡방향 단면도이다.
- 도 9는 터빈 에어포일(turbine airfoil)을 위한 프리폼을 유지하는 캐비티(cavity)를 갖는 분할된 플레이트(split plate)의 최상부 도면이다.
- 도 10은 컴포넌트의 외부 표면 또는 층에서 그루브들(grooves)을 제공하는 레이저 차단 재료의 내부 블록들(interior blocks)을 갖는 프리폼의 측단면도이다.
- 도 11은 도 10의 프리폼으로부터 유발하는 컴포넌트의 그루브식(grooved) 표면 및 기재의 측단면도이다.
- 도 12는 추가의 첨가적 재료를 위한 캐비티들을 갖는 레이저 차단 재료의 내부 블록들을 갖는 프리폼의 단면 사시도이다.
- 도 13은 도 12의 프리폼으로부터 유발하는 컴포넌트의 표면 및 기재의 측단면도이다.
- 도 14는 표면 장력(surface tension) 제거를 위해 예비소결된(pre-sintered) 다공성 금속의 내부 블록들을 갖는 프리폼 실시예의 최상부 단면도이다.
- 도 15는 방전 플라즈마 소결(spark plasma sintering)에 의해 금속/플럭스(flux) 프리폼을 형성하는 프로세스를 예시한다.
- 도 16은 금속/플럭스 프리폼을 사용하여 컴포넌트를 보수하는 프로세스를 예시한다.
- 도 17은 열화된 표면을 갖는 컴포넌트의 단면도이다.
- 도 18은 가스 터빈 에어포일의 일부분을 형성하기 위한 프리폼들의 세트(set) 또는 스택(stack)을 도시한다.
- 도 19는 본 발명의 양태에 따른 프리폼들을 사용하여 리빌딩된(rebuilt) 스컬러 팁(squealer tip)을 갖는 가스 터빈 블레이드의 팁(tip) 부분을 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0025] 본 발명자들은 하기 이점들을 갖는 솔리드 자유형상 제조 및 보수를 위한 프로세스 및 장치를 개발하였다:
- [0026] a) 기존 3-D 표면들 상에서 빌딩할 수 있다. 수평방향 평탄 표면들로 제한되지 않음.
- [0027] b) 높은 빌드 레이트(build rate), 이를테면, 층당 3 mm 초과 또는 4 mm.
- [0028] c) 용접하기 어려운 금속들을 위해서 이용 가능함.
- [0029] d) 새로운 파손 모드(mode)들에 적용될 수 있는 강인한(robust) 프로세스.
- [0030] e) 요구되는 예열 또는 신속 냉각 없음.
- [0031] f) 불활성 가스에 의해서 멜트 풀의 차폐가 요구되지 않음.
- [0032] g) 넓은 범위의 분말 크기들.
- [0033] h) 분말 제조 방법에 대해 감소된 민감성.
- [0034] 본 발명의 실시예는 여기에 설명된 단계들을 포함한다. 추가로 제작되거나 보수되는 컴포넌트에 추가될 금속을

포함하는 금속 분말 및 플럭스 분말의 프리폼이 생성된다. 프리폼에서 금속은, 컴포넌트의 층 또는 슬라이스(slice)의 형상을 규정하는 분포로 제한될 수 있다. 프리폼은 워크 테이블(work table)과 같은 작업 표면, 보수를 위한 컴포넌트 표면, 또는 첨가적 제작의 이전 층에 선택된다. 이후, 프리폼은 지향된 에너지, 이를테면 레이저 빔 또는 다른 형태의 에너지에 의해 용융된다. 이는, 프로세싱 동안 층을 차폐하고 절연시키는 금속의 층 및 슬래그(slag)의 오버 레이어(over-layer)를 형성한다. 이후, 슬래그는 제거되며, 후속 층이 추가될 수 있다.

[0035] 도 3은 금속(32, 34)의 구속되지 않은 입자들(unbound particles) 및 플럭스(33)를 포함하는 백(bag), 엔벨로프(envelope), 슬리브(sleeve) 또는 튜브와 같은 폐쇄된 컨테이너(container)로서 구체화되는 프리폼(22A)의 측면도를 도시한다. "구속되지 않은(unbound)"은, 블록 또는 다른 자기 지지 형태(form) 내로 함께 압밀되고, 치밀해지고 그리고/또는 소결되는 것이 아니라 헐거우(loose) 것을 의미한다. 구속되지 않은 입자들의 이점은, 본원에서 후술되는 바와 같이 솔리드 프리폼에 의한 것보다 입자들 사이에서의 반사에 의해 레이저 에너지가 더 깊게 관통한다는 점이다. 입자들은, 미리 정해진 용적비(volume ratio)로 혼합되는 플럭스 입자들 및 각각의 금속을 구성할 수 있거나, 입자들은 본원에서 참조로 포함되는, 2013년 5월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 공보 제 2013/0136868 호에 설명된 바와 같은 플럭스로 코팅(coated)되거나 플럭스를 포함하는 금속 입자들을 구성할 수 있다. 컨테이너는 밀봉된 둘레부(sealed periphery)(28)를 가지는 벽들(24, 26)을 갖는다. 벽들은, 임의의 유형의 시트들(sheets), 이를테면, 분말을 리테인하는(retain) 직물(fabric), 막(film), 또는 포일(foil)일 수 있다. 시트들은 유해한 스톱(smoke) 및 재(ash)를 생성하지 않는 재료로 만들어질 수 있고, 그리고 플럭스, 이를테면 알루미늄 포일, 또는 알루미늄 또는 실리카(silica) 함유물의 직물에 기여할 수 있다. 컨테이너는, 에너지 빔(energy beam)에 응답하여 금속 층의 소망하는 형상을 생성하는 입자 분포를 유지하도록 칸막이들(partitions)(29)에 의해서 쿼팅(quilte)되거나 세분화(subdivided)될 수 있다. 이러한 칸막이들(29)은 또한 비수평식(non-horizontal) 재료 증착 적용들을 위해 유용할 수 있다. 벨트 풀이 어느 정도까지 셀프 레벨링(self-leveling)하기 때문에, 프리폼의 두께의 일부 변형은 허용가능하다. 칸막이들은, 컴포넌트의 섹션(section)에 걸쳐 다양한 요건들에 대해 최적화된 상이한 크기들 및/또는 상이한 재료들의 입자들(32, 34)의 구획들(compartments)을 제공할 수 있다. 더 큰 입자 크기들이 더 큰 구조적 피쳐들을 위해 제공될 수 있고, 더 작은 입자 크기들이 더 작은 보다 상세한 구조적 피쳐들을 위해 사용될 수 있다. 직물-벽형(fabric-walled) 구획은, 각각의 입자 크기를 리테인하는데 적절한 메쉬(mesh) 크기를 가질 수 있으며, 그리고 이에 따라 적절하게는, 프리폼에 걸쳐 변경될 수 있거나 알루미늄 포일에서와 같이 라이닝되어(lined) 미세한(fine) 분말식 입자들을 리테인할 수 있다. 이후, 알루미늄은 합금 벨트의 구성성분이 된다.

[0036] 선택적으로, 둘레부(28)는 비금속, 비용융, 레이저 차단 재료(30), 이를테면, 그래파이트(graphite) 또는 지르코니아(zirconia)를 포함할 수 있으며, 이 재료는 벨트 풀 외부측 레이저 스캔 라인들(laser scan lines)을 위한 에너지 흡수 턴어라운드(energy absorbing turn-around) 영역을 제공한다. 이는 층의 둘레부의 과잉 가열을 회피한다. 레이저 차단 재료(30)는, 벽들(24, 26)의 둘레부들(28)이 고온 시멘트(high-temperature cement)로 부착될 수 있는 솔리드 둘레방향 프레임(solid peripheral frame)을 형성할 수 있다. 이러한 프레임은 제작된 컴포넌트의 매우 명확한(highly defined) 외부 표면을 제공한다. 그래파이트와 같은 높은 열전도도를 갖는 레이저 차단 재료는, 금속 냉각을 촉진함으로써 응고된 금속에서 미세 결정 구조(fine grain structure)를 유도한다. 지르코니아와 같은 낮은 열전도도를 갖는 레이저 차단 재료는, 열(heat) 제거 방향을 주로 바람직한 결정 배향의 방향으로 제한함으로써 방향성 응고(directional solidification)를 유도하는데 유용할 수 있다. 이에 따라, 금속의 결정 구조는, 맞춤화될 수 있고 둘레 재료들의 선택에 의해서 컴포넌트에 걸쳐 변경될 수 있다. 이러한 접근법을 사용한다면, 등축(equiaxed) 결정 구조로부터 주상 결정 구조(columnar grain structure)로의 명확한 전이(well defined transition)를 유지하여, 이에 의해 특정 영역들에서 주상 피쳐 및 등축 피쳐 양자 모두를 갖는 층들을 제공하는 것이 가능하다. 선택적으로, 드라이 아이스(dry ice) 입자들이 금속 및 플럭스의 입자들(32)과 혼합될 수 있거나 레이저 차단 재료(30) 대신에 또는 추가로 둘레 또는 내부 구획에 포함될 수 있어 CO<sub>2</sub> 가스의 산화 차폐를 제공하고 그리고 가열을 제어할 수 있다.

[0037] 도 4는 본 발명의 프로세스 및 장치의 실시예에 의해 형성될 이중벽 가스 터빈 블레이드(35)의 단순화된 횡방향 단면도이다. 외부 벽(36)은 내부 벽(37)보다 더 두꺼워, 상이한 입자 크기 요건들을 갖는 영역들을 나타낸다.

[0038] 도 5는 도 4의 블레이드의 단면 층을 생성하도록 설계된 프리폼 실시예의 최상부 단면도이다. 프리폼은 외부 벽(66)을 형성하도록 더 큰 입자들(32)의 제 1 형상 섹션, 및 내부 벽(37)을 형성하도록 더 작은 입자들(34)의 제 2 형상 섹션을 포함한다. 이는, 레이저 턴어라운드 영역들을 위해 그래파이트와 같은 레이저 차단 경계들

(30)을 더 포함할 수 있다. 이는, 또한 컴포넌트의 명확한 내부 표면들을 제공하고 결정 구조를 제어하기 위해서 내부 레이저 차단 섹션들(31)을 포함할 수 있다. 내부 벽 섹션(34)이 없는 유사한 프리폼이 가스 터빈 블레이드의 스컬러 팁의 보수를 용이하게 할 수 있다. 스컬러 팁은, 사용에 의해 마모되거나 크래킹(cracked)되는 블레이드 팁 상의 둘레 리지(peripheral ridge)이다. 마모된 리지는, 밀링가공(milled)될 수 있고, 본 발명의 실시예에 따른 프리폼을 사용하여 블레이드 팁 또는 밀링가공된 리지의 상부에서 하나 또는 그 초과층들에 의해 리빌딩될 수 있다.

[0039] 그래파이트는 금속에 부착되지 않아서, 레이저 차단 섹션들(30, 31)은 각각의 층의 레이저 프로세싱 이후에 쉽게 제거될 수 있다. 레이저 차단 섹션들은 미립자 또는 솔리드일 수 있다. 선택적으로, 레이저 차단 섹션들은, 제작이 완료될 때까지 한층씩(layer by layer) 축적하는 것을 허용할 수 있어, 각각의 레이저 차단 섹션이 이전 레이저 차단 섹션들 상에 지지된다. 솔리드 레이저 차단 섹션들은 이전의 프리폼에 대해 현재 프리폼을 레지스터링(register)하도록 솔리드 레이저 차단 섹션들의 하부 표면 상에 함몰부들(depressions) 그리고 상부 표면 상에 돌기부들(protrusions)과 같은 레지스트레이션 피처(registration feature)를 가질 수 있다.

[0040] 도 6은 본 발명의 양태들에 따른 자유형상(freeform) 첨가적 제작의 프로세스를 예시한다. 가스 터빈 블레이드와 같은 컴포넌트는 작업 표면(42)에 걸쳐 한층씩(40a 내지 40d) 제작된다. 각각의 층은 다음 층을 위해서 새로운 작업 표면(42A 내지 42C)을 제공하며, 이는 마지막 작업 표면(42C) 상에 플럭스 및 금속의 입자들(32)을 포함하는 프리폼(22)을 배치시킴으로써 추가되며, 프리폼 상에 에너지(58)를 지향시킨다. 원래의 작업 표면(42) 및/또는 에너지 방출기(50)는 다수의 층들(52) 상에서 이동될 수 있어, 에너지 빔(58)이 이전 층과 금속을 통합하기에 충분하게 금속을 가열하는 진행 경로들, 이를테면, 일반적으로 평행한 경로 또는 지그재그(zigzag) 경로로, 프리폼에 걸쳐 임의의 소망하는 패턴(pattern)으로 횡단(traversed)되거나, 래스터링(rastered)되거나 또는 이동될 수 있다. 멜트 풀(54)은 프리폼 상에 지향된 에너지(58)의 초점(focus) 또는 층들 스팟(spot)을 형성할 수 있다. 선택적으로, 프리폼들의 그래파이트 경계들(graphite borders)(30)은 제작이 완료될 때까지 축적되는 것이 허용될 수 있다. 이는, 이전의 경계 상에서 현재 경계를 지지하며, 이에 따라 컴포넌트의 외부 표면들(41)을 완벽하게 하도록 경계 얼라인먼트(border alignment)를 지지한다.

[0041] 도 6의 프로세스는, 제작시에 금속 층(40A 내지 40D)을 구성하는 소망하는 최종 초합금 재료를 생성하기 위해 용융 프로세스 동안 결합하는 다수의 금속 성분들의 입자들(32)을 만드는 것을 더 포함할 수 있다. 이는, 구성 성분들의 비율들을 변경시킴으로써 소망하는 특징들에 대해 각각의 금속 층(40A 내지 40D)을 맞춤화하는 것을 허용한다. 이는, 층(40A 내지 40D)의 깊이에 따라 변하는 구성성분들의 구배 및 대응하는 특징들을 생성시키는 데 사용될 수 있다.

[0042] 플럭스 및 발생한 슬래그(slag)(56)는, 지향된 에너지를 흡수하고 그리고/또는 이 에너지를 투과하거나 반투과시키도록 구성될 수 있다. 사용될 수 있는 플럭스 재료들의 예들은, Lincolnweld P2007, Bohler Soudokay NiCrW-412, ESAB OK 10.16 또는 10.90, Special Metals NT100, Oerlikon OP76, Sandvik 50SW 또는 SAS1의 이름들로 시판중인 것들과 같은 상업적으로 입수가 가능한 플럭스들을 포함한다. 가스 터빈 엔진(gas turbine engine)들과 같은 고온 적용들을 위해 사용되는 현재 입수가 가능한 철, 니켈 또는 코발트계 초합금들 중 임의의 초합금은, 본원에서 이전에 언급되고 도 1에서 라벨링된(labeled) 초합금들을 포함하는 본 발명의 프로세스에 의해 제작되거나, 결합되거나, 보수되거나, 또는 코팅될(coated) 수 있다.

[0043] 플럭스는 지향된 에너지(58)의 흡수 및/또는 전달과 관련하여 슬래그 특징들을 제어하는 구성성분들을 포함할 수 있다. 예컨대, 슬래그를 통한 레이저 에너지의 광학적 투과 뿐만 아니라 멜트 풀을 위한 절연 및 차폐를 제공하는 재료들이 포함될 수 있다. 이러한 재료들은 하기 특징들 중 일부 또는 전부의 특징을 포함할 수 있다:

[0044] 1. 금속 합금의 용점 미만(예컨대, 1260°C 미만)의 온도들로 용융.

[0045] 2. 에너지 빔 파장에 대해 적어도 부분적으로 광투과.

[0046] 3. 공기와의 반응으로부터 용융 금속을 차폐.

[0047] 4. 선택적으로, 합금 멜트에 대해 첨가되는 구성성분들을 포함할 수 있음.

[0048] 5. 선택적으로, 개선된 셀프 레벨링을 위해서 용융 풀(molten pool)의 점도 또는 표면 장력의 온도 계수를 감소시키는 엘리먼트들(elements)을 포함할 수 있다.

[0049] 플럭스 재료 및 발생하는 슬래그 층(56)은 새로운 층(40D) 및 기저 기재 재료 또는 이전 층(40C)의 크래킹(cracking)을 방지하는데 유용한 기능들을 제공한다. 첫번째로, 슬래그는 지향된 에너지(58)의 하류 구역에서 분위기로부터 최근에 응고된 금속 및 멜트 풀(54) 양자 모두를 차폐하도록 기능하여, 대기로부터 용융된 고온 금속을 분리한다. 두번째로, 슬래그는 응고된 재료를 서서히 그리고 균일하게 냉각하는 것을 허용하는 블랭킷(blanket)으로서 작용하며, 이에 의해 용접후 재가열(post weld reheat) 또는 변형 시효 크래킹(strain age cracking)의 원인이 될 수 있는 잔류 응력들을 감소시킨다. 세번째로, 플럭스 재료는 용접물 응고 크래킹의 원인이 되는 황 및 인과 같은 미량의 불순물들을 제거하는 세정 효과를 제공한다. 이러한 세정은 금속 분말의 탈산(deoxidation)을 포함한다. 마지막으로, 플럭스 재료는 지향된 에너지(58)를 열로 더 효과적으로 전환시키기 위해서 에너지 흡수(energy absorption) 및 트래핑(trapping) 기능을 제공할 수 있으며, 이에 의해 2% 이내와 같은 입열(heat input)의 정교한 제어, 및 프로세스 중 재료 온도의 결과로 발생하는 엄격한 제어를 용이하게 한다. 추가로, 플럭스는 프로세싱 동안 휘발되는 엘리먼트들의 손실을 보상하거나 또는 달리 금속 분말 자체에 의해 서로 제공되지 않는 엘리먼트들을 적층물에 능동적으로 기여하도록(contribute) 제형화될 수 있다. 이와 함께, 이러한 이점들은, 전통적으로, 핫 박스 프로세스에 의해 또는 칠 플레이트의 사용을 통해서만 결합될 수 있는 것으로 믿어졌던 재료들에 대해 실온에서 초합금 기재들 상에 크랙 없는(crack-free) 첨가적 레이어링(additive layering)을 허용한다. 추가로, 플럭스는 멜트 풀의 표면 장력 또는 점도를 감소시켜 이에 의해 SLM에서 보편적으로 공지된 표면 장력 "볼링(balling)" 효과를 회피시키는 엘리먼트들을 추가시키기 위해서 제형화될 수 있다.

[0050] 도 7은 하나 또는 그 초과와 첨가적 재료들을 포함하는 튜브들(44)의 하나 또는 그 초과와 층들로 형성되는 프리폼 실시예(22C)의 단면 사시도이다. 튜브들은 예컨대 알루미늄이나 또는 실리카 섬유들을 사용하여 직물(fabric)로 만들어질 수 있다. 튜브들은 스티치식(stitched), 직조식(woven) 또는 함께 시멘트 결합(cemented)될 수 있다. 대안으로, 튜브들은 압출될 수 있고 그리고 함께 시멘트 결합될 수 있다. 선택적으로, 튜브들의 다중 층들은, 상이한 층들을 위해 상이한 첨가적 재료들을 유지하기 위해서 도시된 바와 같이 단일 프리폼에 조합될 수 있다. 예컨대, 제 1 층은 구조적 초합금 및 플럭스의 입자들(32)을 포함할 수 있고, 제 2 층은 금속 대 세라믹(metal-to-ceramic) 접합 코트(bond coat) 재료(이틀테먼, MCrAlY 합금) 및 플럭스의 입자들(45)을 포함할 수 있고, 제 3 층은 세라믹 열적 배리어(ceramic thermal barrier) 재료의 입자들(46)을 포함할 수 있다. 이러한 다중 층 프리폼은, 가스 터빈 블레이드 또는 플랫폼(platform)과 같은 컴포넌트에서 표면 크랙들을 보수하기 위해서 그리고/또는 열적 배리어를 포함하는 시효처리된(aged) 표면을 복원(restore)하기 위해서 사용될 수 있다. 튜브들은, 도시된 바와 같이 상이한 층들에서 수평일 수 있거나 수직일 수 있고 또는 이들은 컴포넌트의 윤곽들(contours), 이틀테먼, 도 4의 블레이드 섹션의 곡선 벽들(36, 37)을 따를 수 있다. 일 실시예에서, 금속 대 세라믹 접합 코트(45) 및 세라믹 열적 배리어(46)의 층들은 기존의 또는 새롭게 제작된 기재에 열적 배리어 층을 추가하기 위해서 또는 오래된 기재의 제거 이후에 열적 배리어를 복원하도록 단일 프리폼에 제공된다.

[0051] 도 8은 터빈 블레이드의 외부 벽을 형성하기 위해서 실시예(22C)와 같은 프리폼들을 컨포밍하여 감싸지는 맨드릴(47)의 횡방향 단면도이다. 예컨대, 터빈 벽을 위해 사용되는 최내부 프리폼들은, 모든 금속 및 플럭스 입자들(32)을 포함할 수 있고, 외부 프리폼은 접합 코트 층 및 세라믹 열적 배리어 층을 위한 재료들을 포함할 수 있다.

[0052] 도 9는 터빈 에어포일용 프리폼(31, 32)을 유지하기 위한 캐비티(61)를 에워싸는 2 또는 그 초과와 분리가능한 부품들(60A, 60B)을 갖는 분할된 플레이트(몰드(mold))의 최상부 도면이다. 이러한 플레이트는 프리폼을 플레이트에 레지스터링하고 플레이트의 둘레부를 정확하게 규정하도록 프리폼을 구속시키는데 사용될 수 있다. 플레이트는 하나 또는 그 초과와 프리폼들의 두께를 가질 수 있다. 선택적으로, 이는, 컴포넌트 구조가 빌딩됨에 따라 연속적으로 다중 프리폼들을 유지할 정도로 충분히 두꺼울 수 있으며, 이에 의해 컴포넌트의 외부 표면을 크게 규정한다. 플레이트의 재료는, 응고 속도(solidification rate) 그리고 이에 따라 이전에 설명된 에너지 차단 재료들과 유사하게 가공물의 솔리드 내부 구조를 제어하도록 선택될 수 있다. 연속 층들은, 상이한 재료들의 상이한 분할된 플레이트들과 함께 빌딩될 수 있어서 컴포넌트의 냉각 파라미터들(parameters)을 변경시킴으로써 컴포넌트의 높이 또는 스패(span)를 따라 컴포넌트의 결정 구조를 변경시킨다. 열전도도가 더 높은 재료는 용융된 금속으로부터 열을 보다 신속하게 전달하는 경향이 있을 수 있어, 이에 따라 결정 크기가 더 작아지는 것을 촉진시키는 한편, 열전도도가 더 낮은 재료는 용융된 금속으로부터 열을 느리게 전달하는 경향이 있을 수 있어, 이에 따라 결정 크기가 더 커지는 것을 촉진시킨다. 분할된 플레이트의 부품들(60A, 60B)은 컴포넌트 둘레 결정 구조를 변화시키기 위해서 상이한 재료들로 만들어질 수 있다. 예컨대, 발생하는 터빈 블레이

드의 압력 측은 흡입 측과 상이한 결정 구조를 가질 수 있다. 이에 따라, 결정 구조는 맞춤화될 수 있고 분할된 플레이트의 재료들의 선택에 의해서 컴포넌트에 걸쳐 변경될 수 있다. 이러한 접근법을 사용한다면, 등축(equiaxed) 결정 구조로부터 주상 결정 구조(columnar grain structure)로의 잘 정의된 전이(transition)를 유지하여, 이에 의해 주상 영역 및 등축 영역 양자 모두를 갖는 결정 구조를 제공하는 것이 가능하다. 내부 레이저 차단 섹션들(31)은 이미 설명된 바와 같은 프리폼에 제공될 수 있다. 분할된 플레이트 및 내부 레이저 차단 섹션들을 위한 예시적 재료들은, 높은 열전도도를 위한 그래파이트 또는 낮은 열전도도를 위한 지르코니아이다.

[0053] 도 10은 금속 및 플럭스의 입자들(32)을 에워싸는 벽들(24, 26)을 갖는 프리폼 실시예(22D)의 측면면도이다. 돌레부(28)는 레이저 차단 재료(30)의 돌레 프레임에 포함할 수 있다. 그래파이트와 같은 에너지 차단 재료들(31)의 내부 블록들 또는 섬유들은 도 11에 도시된 바와 같이 표면 층의 텍스처링(texturing)을 위해 제공될 수 있다. 이러한 프리폼(22D)을 사용함으로써, 기재(63)의 층(62)에는 후속하여 적용된 열적 배리어 층을 리테이닝하는 것과 같은 이점들을 위해 임의의 크기 및 깊이의 그루브들 또는 함몰부들(64)이 제공될 수 있다.

[0054] 도 12는 프리폼의 제 1 첨가적 재료(32)와 동일하거나 상이한 유형의 재료일 수 있는 추가의 첨가적 재료(67)를 포함하기 위해서 캐비티들(66)을 포함하는 레이저 차단 재료(31)의 내부 블록들을 갖는 프리폼의 단면 사시도이다. 도 13은 기재(63)의 층(62)을 위한 이러한 프리폼(22E)으로부터 유발하는 컴포넌트 구조의 측면면도이다. 구조는 그루브들(64) 및 칼럼들(columns)(68) 양자 모두를 갖는다. 이는, 예컨대, 칼럼들(68)이 접합 코트 재료를 제공할 수 있는 컴포넌트의 표면 상에 열적 배리어 층을 리테이닝하는데 유용하다.

[0055] 도 14는 예컨대, 방전 플라즈마 소결에 의해서, 높은 백분율의 개방 기공률(open porosity)로 형성되는 러너들(runners) 또는 블록들(70)과 같은 예비소결된 금속의 내부 개재물(internal inclusion)을 갖는 프리폼 실시예(22F)의 최상부 단면도이다. 입자들(32)의 레이저 용융 동안, 예비소결된 블록들(70)은 부착 및 모세관 작용에 의해 펠트를 끌어당겨, 이에 의해 표면 장력에 의한 펠트의 볼링을 방지한다. 금속 블록들(70)은 입자들(32)과 동일하거나 상이한 합금으로 형성될 수 있다. 블록들은 적어도 40 % 공극률(void fraction)을 가질 수 있어서, 이 블록들에는 레이저 프로세싱 동안 스폰지(sponge)와 같이 펠트가 채워진다. 블록들(70)은 도시된 바와 같이 크로싱 패턴(crossing pattern), 또는 평행선들 또는 곡선들과 같은 다른 패턴들로 구성될 수 있다. 다공성 예비 소결된 블록들은, 특히 도시된 크로싱 패턴(crossing pattern)에서 컴포넌트의 최종 열적 응력들을 감소시킨다.

[0056] 선택적으로, 프리폼은 서모크로매틱(thermochromatic) 천이 금속 산화물을 포함할 수 있고, 그의 예들은 이산화 티타늄(titanium dioxide), 산화 바나듐(vanadium oxide) 또는 산화 크롬(chromium oxide) 및 산화 알루미늄(aluminum oxide)의 혼합물을 포함한다. 금속 컴포넌트의 적어도 일부는, 후속 작업 동안 컴포넌트의 표면 상의 온도를 디스플레이하기(display) 위해서 컴포넌트의 최상부 층에 있는 이러한 재료를 갖는 것과 같이, 제작 후 서모크로매틱 재료를 포함할 수 있다. 대안으로, 프리폼은 합성 세라믹들 또는 무연 피에조 세라믹들(lead-free piezo-ceramics)과 같은 압전 재료(piezo-electric material)를 포함할 수 있다. 금속 컴포넌트의 적어도 일부, 이를테면, 표면 부분은 제작 후 압전 재료를 포함할 수 있어, 표면 상에 접근 가능한 전압들에 의해서, 이를테면, 컴포넌트를 형성하기 위해서 사용된 프리폼들의 선택적 설계에 의해 또한 컴포넌트 내에 형성된 절연된 전기 도전체들에 의해서, 단면의(sectional) 또는 표면 변형(surface strain)을 나타낸다. 예비소결된 금속 블록들은 방전 플라즈마 소결(spark plasma sintering), 분말 사출 성형(powder injection molding) 또는 금속 블록의 기공률을 제어하는 것을 허용하는 임의의 프로세스를 사용하여 제조될 수 있다.

[0057] 도 15는 압축(102)과 함께 방전 플라즈마 소결(SPS; spark plasma sintering)(100)에 의해 프리폼을 형성하는 대안의 프로세스를 예시한다. 다이 케이스(die case)(104)에는 금속 합금 분말(110) 및 플럭스 분말(112)을 치밀화(compacting)하고 소결하기 위해서 제 1 전극(106) 및 제 2 전극(108)이 제공될 수 있으며, 이 전극들 중 적어도 하나의 전극은 이동 가능할 수 있다. 2 개의 분말들이 동시에, 또는 상이한 전압들을 사용하여 상이한 2 개의 단계들에서 압축되고 소결될 수 있다. 2 개의 분말들이 도시된 바와 같이 2 개의 구별되는 층들에 배치될 수 있고, 그리고/또는 이 분말들은 균일하게 또는 구배 조성(gradient composition)으로 혼합될 수 있다. 분말 비율들 및 이들 분말 비율들의 상대 위치들 및 형상들의 정밀한 제어는, 개방 분말 베드들에서 이들을 첨가적 용융 또는 배치하는 그 시간에 이들을 피딩하는(feeding) 것과 대조적으로, 이렇게 하여 이들을 프리포밍(preforming)함으로써 가능해진다. 함몰부들 또는 범프들(bumps)과 같은 텍스처링 피쳐들(114)은 금속 분말 부분(110)의 외부 표면 상에 형성될 수 있어 컴포넌트 상의 보호 코팅을 위해 앵커링(anchoring)과 같은 이점들을 제공한다. 텍스처링은, 전기 전도성 형상 형태(shaping form)의 제거가 후속되는, 상부 전극(106)의 저부 상에서 전기 전도성 형상 형태를 사용하는 금속 분말(110)의 제 1 소결 단계, 다음으로, 제 2 단계에서 플럭스 분말

의 적층 및 소결하는 것으로 형성될 수 있다.

- [0058] 중공의 세라믹 구들(hollow ceramic spheres)(도시 생략)은 금속 층의 열 전도도를 낮추기 위해서 금속 층에 미리 정해진 공극률(void fraction)을 추가하도록 금속 분말(110)과 혼합될 수 있다. 대안으로, 프리폼의 금속 분말 부분은 금속 분말(110)의 입자 크기 분포(particle size distribution) 그리고 방전 플라즈마 소결의 전압, 압축, 및 지속시간에 의해 판정되는 기공률과 함께 형성될 수 있다. 지향된 에너지 빔(energy beam)의 파워(power) 및 지속시간은 컴포넌트에서 기공률의 일부를 리테이닝하기 위해서 첨가적 프로세싱 동안 제한될 수 있다.
- [0059] 도 16은 표면(122)에 컨포밍하는 프리폼(22G)을 사용하여 비평탄 또는 비수평 표면(122)을 갖는 컴포넌트(120)를 보수하는 프로세스를 예시한다. 이는 비수평 표면들 상에서 슬라이딩(slide)할 수 있고 벨트 풀이 비탈 아래로 이동할(run downhill) 수 있는 개방 분말 베드들 위의 프리폼들의 이점을 예시한다. 프리폼(22G)은 모든 측면들(124) 상에서 벨트 풀(54)을 리테이닝하여, 수평으로부터 10도 초과 또는 20도인 표면들의 보수를 허용한다. 지향된 에너지(58)는, 벨트 풀의 표면 장력이 비수평 각도들의 범위에 걸쳐 솔리드 측면들(124) 내에서 벨트 풀을 리테이닝하도록 미리 정해진 크기 및 점도의 벨트 풀을 생성하도록 집속되고(focused) 제어될 수 있다. 일부 플러스 재료는 프리폼(22G)의 저부 상에 제공되고 그리고/또는 금속 재료(110)와 혼합될 수 있어서, 용융된 금속이 크랙들(126)을 채워, 이에 의해 크랙들을 밀봉하고 제거한다. 프리폼은 외부 층(40)에 제거될 컴포넌트 및 슬래그 층(56)을 추가할 수 있다
- [0060] 도 17은 파손된 부분(128)에 의해서 열화된 표면(122)을 갖는 컴포넌트(120)의 부분을 도시한다. 파손된 부분은 밀링(milling) 또는 다른 수단에 의해 제거될 수 있어, 표면에 함몰부(130)를 형성한다. 프리폼은 함몰부들을 채우도록 성형될 수 있다. 대안으로, 프리폼은 소망하는 보수 형상으로 형성될 수 있고, 함몰부(130)는 프리폼의 형상에 일치하도록 밀링될(milled) 수 있다.
- [0061] 도 18은 가스 터빈 에어포일의 일부분을 형성하기 위한 프리폼들(22E 내지 22S)의 세트(132) 또는 스택을 도시한다. 본 발명의 양태들에 따른 프리폼들은, 컴포넌트의 일부 또는 전부를 형성하기 위한 세트 또는 세트들에 제공될 수 있다. 이러한 접근법을 사용하면, 엘리먼트 분포 및 결정 크기(grain size)에 대해 더 높은 균질화의 정도가 유지될 수 있다. 앞서 설명된 바와 같이 내부 다공성 금속 블록들을 갖는 프리폼들은, 열 응력 그리고 이에 따라 최종 부품 뒤틀림(distortion)을 감소시키기 위해서 교번(alternating) 층들에서 사용될 수 있다.
- [0062] 도 19는 팁-투-슈라우드(tip-to-shroud) 간극 제어를 위해 팁의 둘레부 주위에 반경 방향으로 연장하는 리지(138) 또는 "스퀼러 팁(squealer tip)"을 갖는 가스 터빈 블레이드(134)의 팁(136)을 도시한다. 이 리지는, 본 발명의 양태들에 따라, 층들(40E, 40F)을 형성하도록 하나 또는 그 초과 프리폼들을 사용하여 제작, 보수 또는 교체될 수 있다. 예컨대, 파손된 스퀼러 팁은 부분적으로 또는 완벽하게 밀링가공될 수 있고 하나 또는 그 초과 프리폼들에 의해 리빌딩될 수 있다. 블레이드의 전체 단부는 필요하다면 이러한 방식으로 리빌딩될 수 있다.
- [0063] 본원에서 설명된 지향된 에너지(58)는 전자 빔(electron beam), 하나 또는 그 초과 서클러 레이저 빔(circular laser beam)들, 스캔식 레이저 빔(scanned laser beam)(1 차원, 2 차원 또는 3 차원 스캔식), 및 통합식 레이저 빔(integrated laser beam) 등과 같은 에너지 빔일 수 있다. 직사각형 단면을 갖는 다이오드(diode) 레이저 빔은, 프로세싱될(processed) 비교적 큰 면적을 갖는 실시예들을 위해 특히 유리할 수 있다. 다이오드 레이저에 의해 발생하는 광역(broad area) 빔은, 열 밀도, 열영향부(heat affected zone), 기재로부터의 희석(dilution) 및 잔류 응력들을 감소시키는 것을 도우며, 이들 모두는 초합금 보수와 정상적으로 관련된 크래킹 영향들에 대한 경향을 감소시킨다. 광역 레이저 노출을 발생시키기 위해 사용된 광학적 조건들 및 광학계(optics)는 이것으로 제한하는 것은 아니지만, 레이저 빔의 디포커싱(defocusing); 초점에서 직사각형 에너지 소스들(rectangular energy sources)을 발생시키는 다이오드 레이저들의 사용; 초점에서 직사각형 에너지 소스들을 발생시키기 위해서 분절식 미러들(segmented mirrors)과 같은 통합 광학계들의 사용; 하나 또는 그 초과 차원들에서 레이저 빔의 스캐닝(scanning)(래스터링(rastering)); 및 가변 빔 직경(예컨대, 매우 세부적인 작업을 위한 스팟에서의 0.5 mm 직경이 덜 세부적인 작업을 위한 스팟에서의 2.0 mm로 바뀔)의 집속 광학계들의 사용을 포함할 수 있다.
- [0064] 공지된 레이저 용융 또는 소결 프로세스들에 걸친 이러한 프로세스의 이점들은 다음을 포함한다: 넓은 범위의 이용가능 금속 입자 크기들; 각각의 프로세싱 층에서의 두꺼운 적층물 및 높은 적층 속도들; 불활성 가스에 대한 요구 없이 고온 적층된 금속 위를 연장하는 개선된 차폐; 응고화 크래킹을 달리 유도하는 구성성분들의 적층

물의 플럭스 향상된 세정; 플럭스 향상된 레이저 빔 흡수 및 프로세싱 장비로 역으로의 최소 반사 그리고 비수평 표면 및 휘어진 표면에 대한 제작/보수를 허용함. 슬래그 형성(slag formation)은 적층물을 성형하고 지지하며, 열을 유지하고, 냉각 속도를 느리게 하며, 이에 의해 잔류 응력들을 감소시키며, 잔류 응력들이 감소되지 않는다면 용접후 열처리들 동안의 변형 시효(strain age)(재가열) 크래킹(cracking)의 원인이 된다. 플럭스는 원소 손실들(elemental losses)을 보상하거나 합금 원소들(alloying elements)을 추가할 수 있다. 프리폼에서 금속 분말 및 플럭스 선배치는, 전체 부품 빌딩에 수반되는 시간을 감소시킬 수 있는데, 이는 적층물의 더 큰 두께를 허용하기 때문이다.

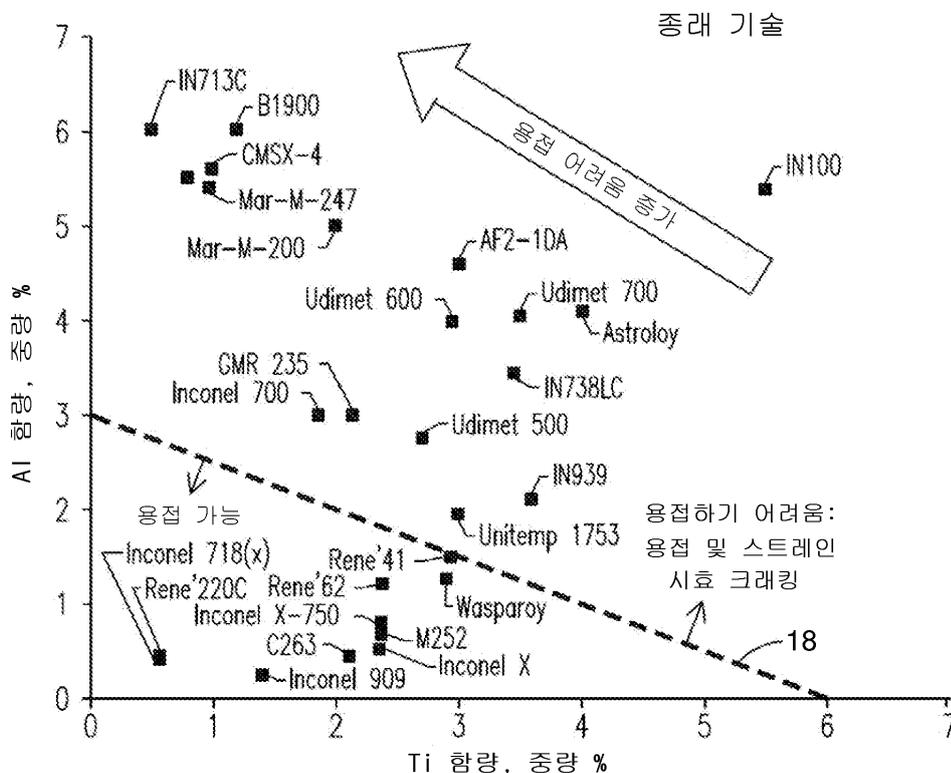
[0065] 본 발명의 실시예들에 따른 초합금 재료들을 위한 보수 프로세스들은, 결함들을 제거하기 위해서 원하는 바와 같이 연마함으로써 또는 다른 재료 제거 프로세스에 의해서 보수될 초합금 재료 표면을 준비하는 단계, 표면을 세정하는 단계, 그리고 이후 준비된 표면에 일치하는 프리폼을 준비하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 금속 및 플럭스 분말은, 그것에 대해 프리폼을 배치하기 이전에 표면 연마에 의해 형성되는 합몰부들에 배치될 수 있으며, 이는 이러한 분말을 적소에 유지한다. 이후, 에너지 빔은 부유 슬래그 층(floating slag layer)을 갖는 멜트 풀 내로 기재의 상부 층 및 분말을 용융시키기 위해서 표면을 가로질러 횡단되어, 이후 멜트 풀 및 슬래그가 응고하는 것을 허용한다. 이는, 기재의 표면에서의 임의의 표면 결함들을 치유하여, 공지된 기계적 및/또는 화학적 프로세스들에 의한 슬래그의 제거시 갱신된 표면을 남긴다.

[0066] 프리폼은 제 1 금속 합금의 제 1 층, 제 2 금속 합금의 제 2 층, 및 플럭스 분말의 제 3 층으로 형성될 수 있어, 지향된 에너지 파라미터들에 따라 부여된 최종 층 내에서 합금들의 구배 및/또는 합금들의 조합 또는 혼합을 유발한다.

[0067] 본 발명의 다양한 실시예들이 본원에서 도시되고 설명되어 있지만, 이러한 실시예들이 단지 예시로서 제공되는 것이 자명할 것이다. 다양한 변경들, 수정들 및 치환들이 본원의 발명으로부터 벗어나지 않으면서 이루어질 수 있다. 이에 따라, 본 발명은 첨부된 청구항들의 사상 및 범주에 의해서만 제한되도록 의도된다.

도면

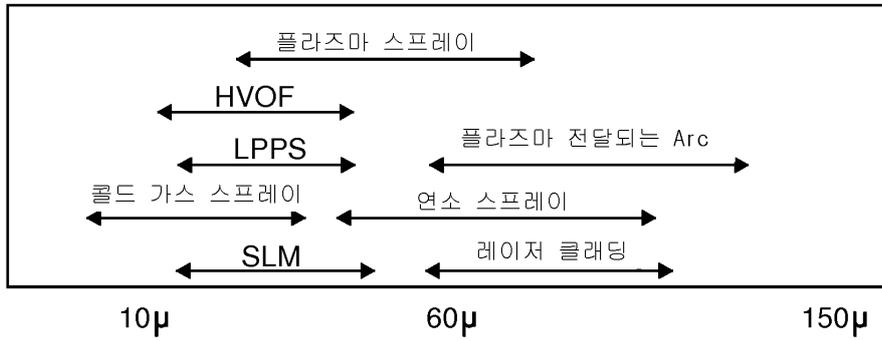
도면1



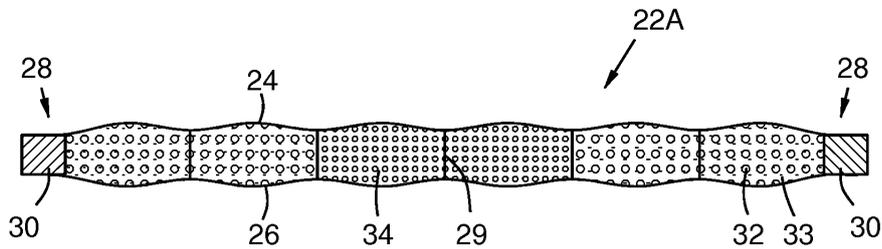
도면2

종래 기술

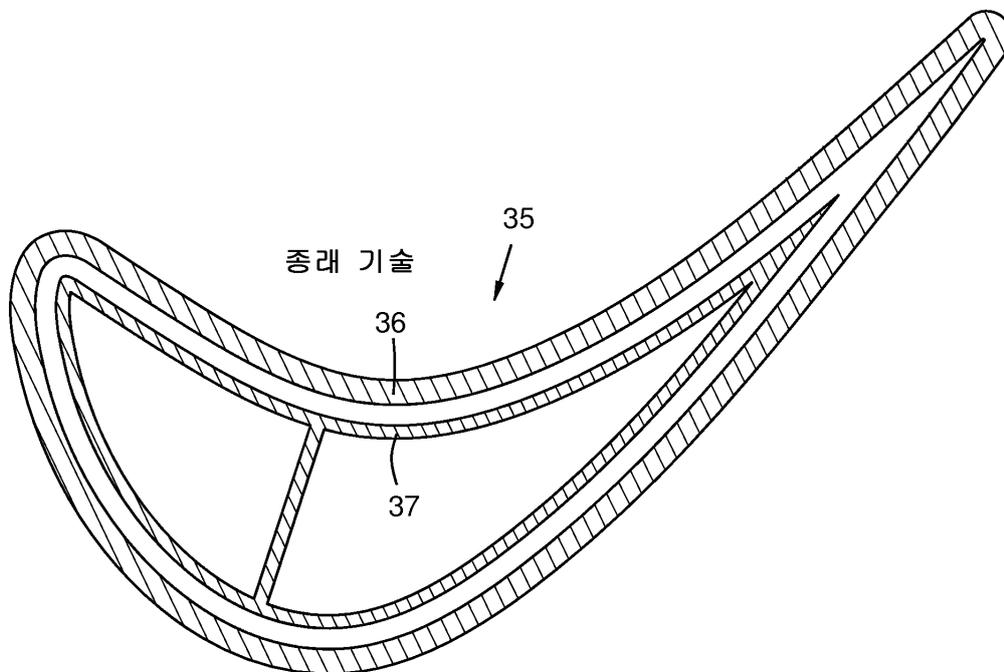
프로세스에 의한 유용한 입자 크기 범위



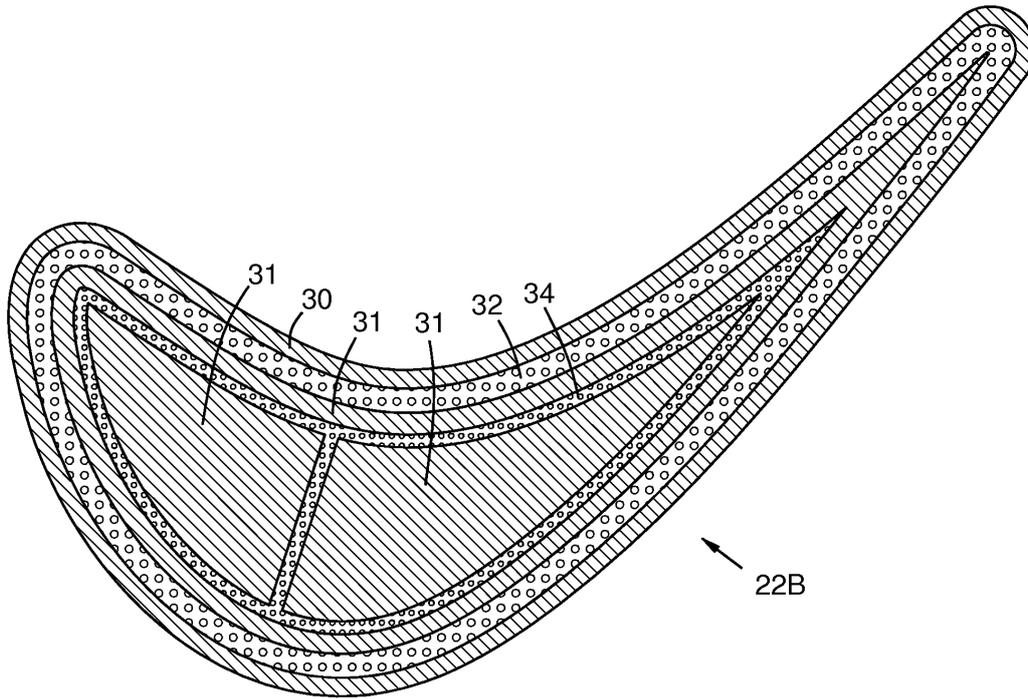
도면3



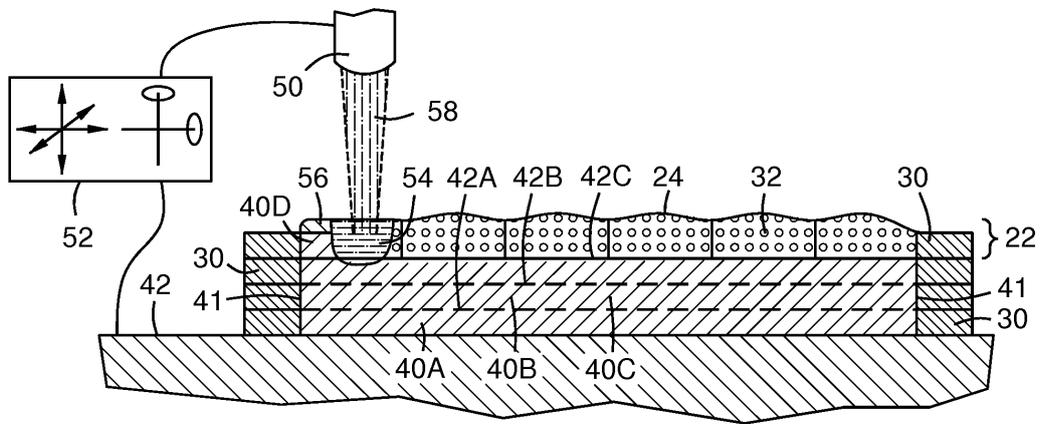
도면4



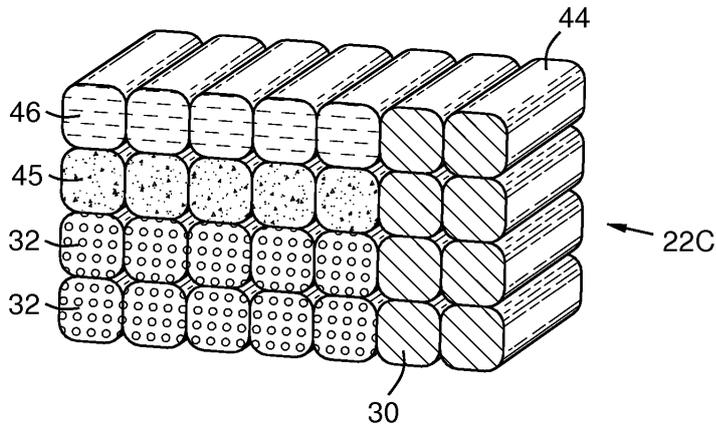
도면5



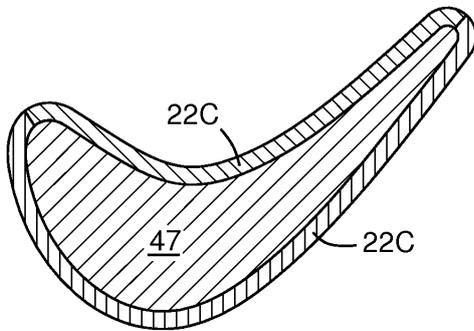
도면6



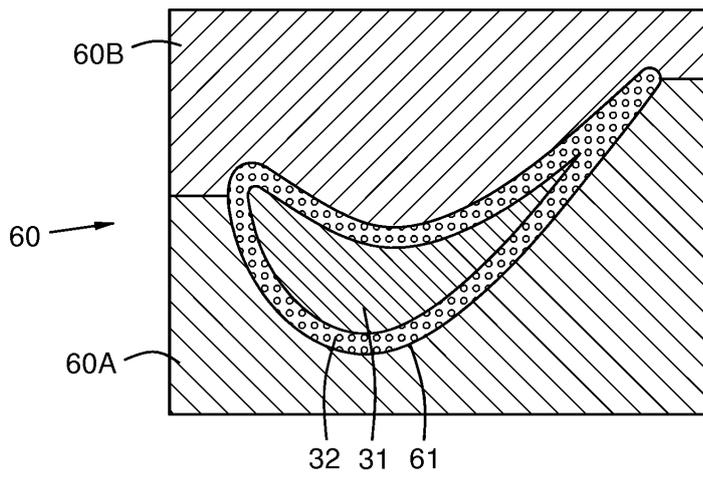
도면7



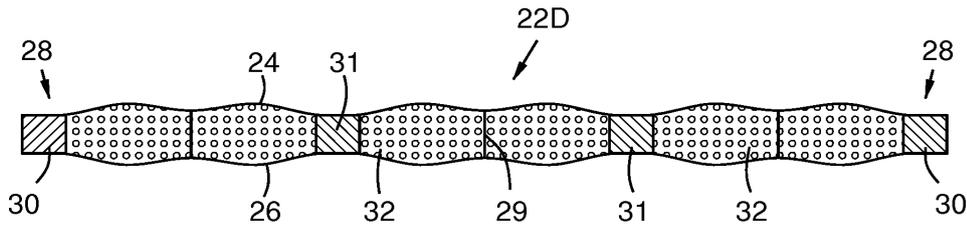
도면8



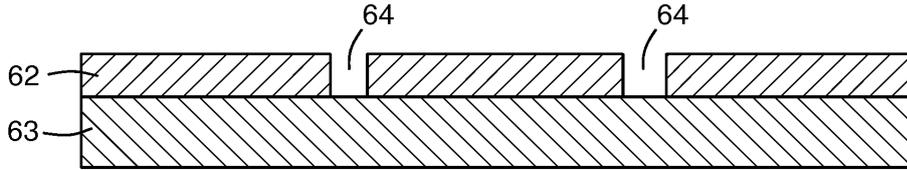
도면9



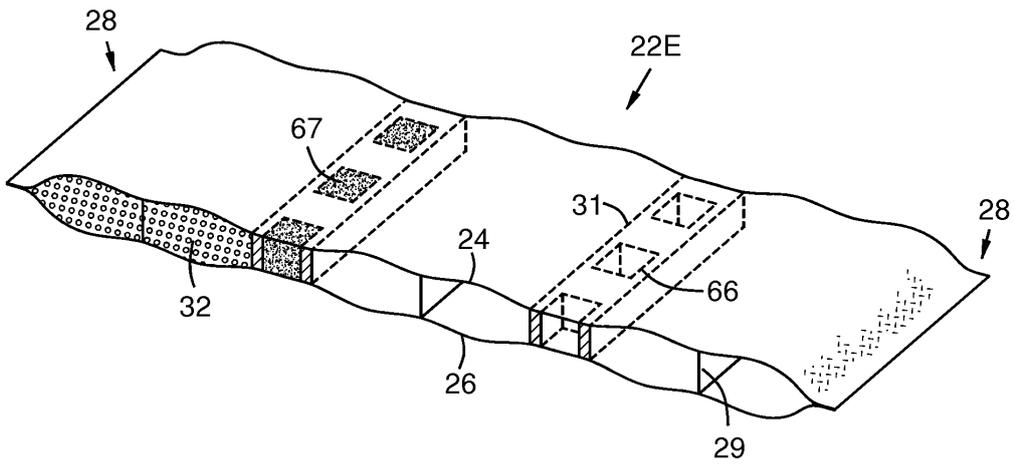
도면10



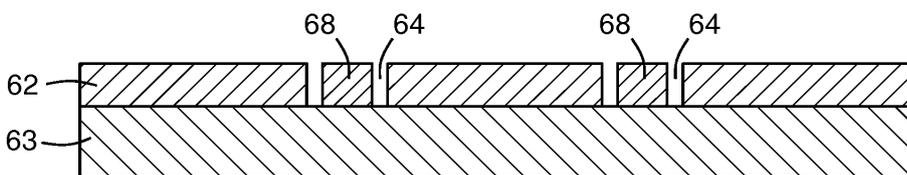
도면11



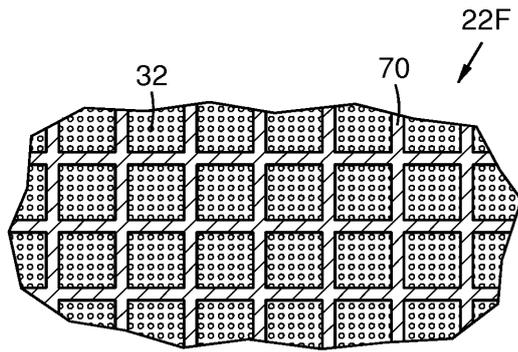
도면12



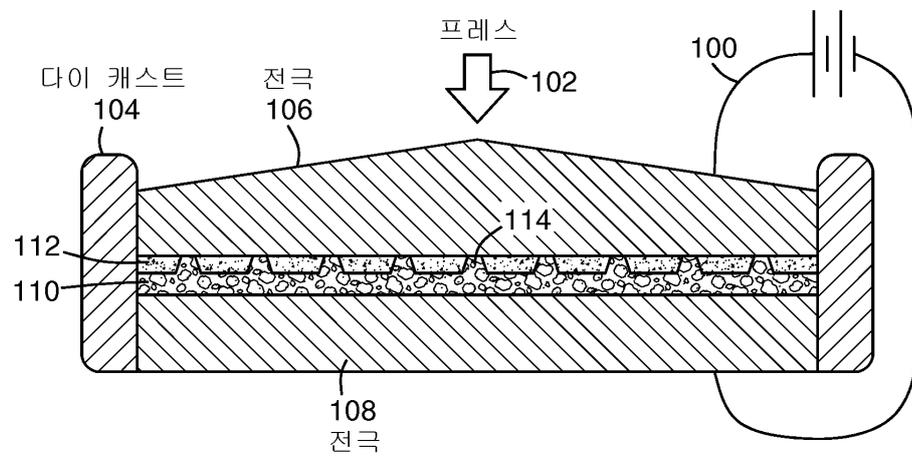
도면13



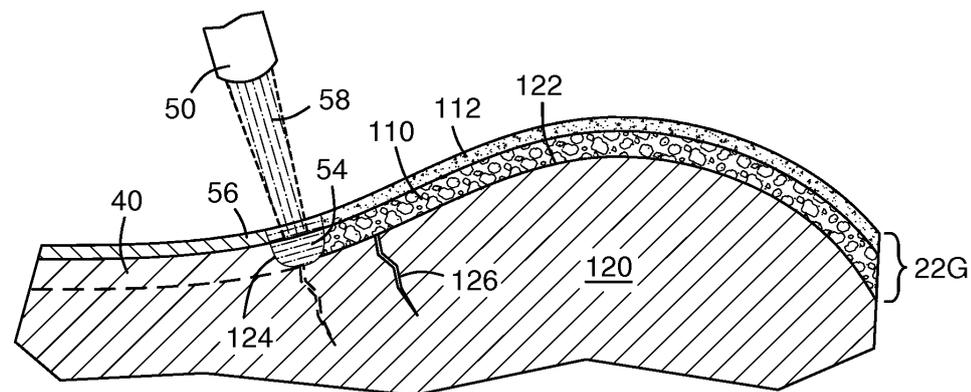
도면14



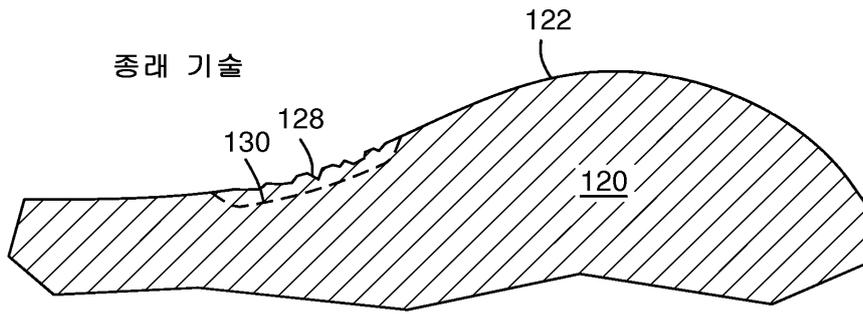
도면15



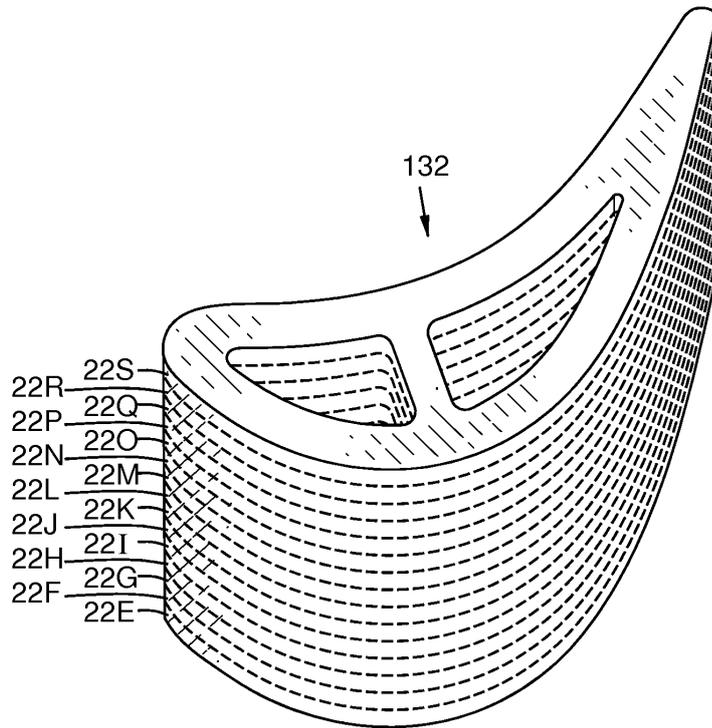
도면16



도면17



도면18



도면19

