



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년09월08일  
(11) 등록번호 10-2300555  
(24) 등록일자 2021년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B23K 26/00 (2014.01) B23K 26/06 (2014.01)  
B23K 26/0622 (2014.01) B23K 26/08 (2014.01)  
B23K 26/10 (2006.01) B23K 26/22 (2014.01)  
B23K 26/244 (2014.01) B23K 26/323 (2014.01)  
(52) CPC특허분류  
B23K 26/0006 (2013.01)  
B23K 26/0608 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-7025438  
(22) 출원일자(국제) 2016년02월08일  
심사청구일자 2019년02월08일  
(85) 번역문제출일자 2017년09월08일  
(65) 공개번호 10-2017-0116123  
(43) 공개일자 2017년10월18일  
(86) 국제출원번호 PCT/GB2016/000028  
(87) 국제공개번호 WO 2016/128704  
국제공개일자 2016년08월18일

(30) 우선권주장  
1502149.6 2015년02월09일 영국(GB)  
(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌  
DE102012008940 A1\*  
JP2014140890 A\*  
KR1020070043876 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
에스피아이 레이저스 유케이 리미티드  
영국 사우샘프턴 헤지 엔드 톨바 웨이 웰링톤 파  
크 3 (우: 에스오30 2큐유)  
(72) 발명자  
캐포스타그노 다니엘 앤써니  
미국 95050 캘리포니아 산타클라라 브룩사이드 에  
비뉴 36  
가브즈딜 야체크 타데우스  
영국 햄프셔 에스오42 7더블유에프 이스트 볼드레  
히쓰 레인 데인 엔드  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 21 항

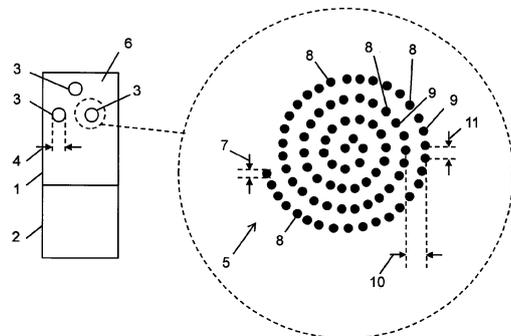
심사관 : 우귀애

(54) 발명의 명칭 용접부

(57) 요약

제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이에 용접부(3)가 제공되고, 제1 재료(1)는 제1 금속 재료이고, 제2 재료(2)는 제2 금속 재료이며, 용접부(3)는 0.5 mm 내지 7 mm의 폭을 갖고, 용접부(3)는 적어도 하나의 미소 용접부(8)를 포함하며, 미소 용접부(8)는 제1 재료(1)의 표면(6)에 평행하게 형성되는 용접 패턴(5)을 형성하고, 미소 용접부(8)는 20 μm 내지 400 μm의 특성 피쳐 크기(7)를 갖는다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*B23K 26/0622* (2015.10)  
*B23K 26/082* (2015.10)  
*B23K 26/10* (2013.01)  
*B23K 26/22* (2013.01)  
*B23K 26/244* (2015.10)  
*B23K 26/323* (2015.10)  
*B23K 26/355* (2018.08)

(30) 우선권주장

1509504.5 2015년06월01일 영국(GB)  
1517768.6 2015년10월07일 영국(GB)

(72) 발명자

**반햄 말콤 폴**

영국 햄프셔 에스오24 9에이치에프 올레스포드 그  
렌지 로드 76

**해리슨 폴 마틴**

영국 윌트셔 에스피4 6에프피 솔리베리 올드 사룸  
노만 드라이브 12

**노만 스테판 로이**

영국 햄프셔 에스오51 9비제트 룸지 엠필드 후크우드  
드 레인 후크우드 코티지

**로소브스키 아담 피오트르**

영국 햄프셔 에스오18 5티유 사우샘프턴 시몬 웨이  
클라딘 코트 플랫 1

**머피 타라**

영국 햄프셔 피오2 0알에프 포츠머스 메이필드 로  
드 140

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

제1 재료를 제2 재료에 레이저 용접하는 방법으로서,

제1 재료를 포함하는 제1 금속 부품을 제2 재료를 포함하는 제2 금속 부품 상에 배치하는 단계,

레이저 펄스 형태의 레이저 빔 또는 연속파 레이저 빔을 방출하는 레이저를 제공하는 단계,

제1 금속 부품의 표면에 대해 레이저 빔을 스캐닝하는 스캐너를 제공하는 단계,

레이저 펄스를 표면 상에 포커싱하는 대물 렌즈를 제공하는 단계,

스캐너가 표면에 대해 레이저 빔을 이동시키도록 스캐너를 제어하도록 된 제어기를 제공하는 단계를 포함하고,

레이저 빔을 표면에 대해 이동시키는 단계,

표면에 평행하게 형성되는 용접 패턴 형태로 적어도 하나의 미소 용접부가 형성되게 하는 스폿 크기 및 펄스 플루언스(pulse fluence)를 갖는 레이저 펄스를 포커싱하는 단계를 더 포함하고,

미소 용접부는 20  $\mu\text{m}$  내지 400  $\mu\text{m}$ 의 특성 피쳐 크기를 가지며,

상기 제어기는 제1 레이저 신호를 선택하여 표면 상에 용융 풀을 생성하고, 제2 레이저 신호를 선택하여 제2 금속 부품에 대한 제1 금속 부품의 용접을 개시하며, 제3 레이저 신호를 선택하여 제1 금속 부품을 제2 금속 부품에 용접하여 미소 용접부를 형성하도록 작동되고,

상기 제1 레이저 신호 및 상기 제2 레이저 신호는 상기 레이저 펄스를 포함하고,

상기 제3 레이저 신호는 상기 레이저 펄스 또는 상기 연속파 레이저 빔 중 하나를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 금속 표면에 대한 레이저 빔의 이동은 용접부가 0.5 mm 내지 7 mm의 폭을 갖도록 되어 있는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 13

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 레이저는 제1 금속 부품에 복수 개의 용융 풀을 그리고 제2 금속 부품에 복수 개의 히트 스테이크(heat stake)를 형성하도록 작동되고, 각각의 히트 스테이크는 용융 풀들 중 각각 다른 용융 풀로부터 연장되며 원위 단부를 갖고, 방법은 제어기를 조정하여, 용융 풀들이 오버랩하게 하기에 충분히 작고 히트 스테이크의 원위 단부가 적어도 한 방향에서 서로 구별되고 분리되는 것을 보장하기에 충분히 큰 거리만큼 포커싱된 스폿들을 이격시키는 단계를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 14

삭제

#### 청구항 15

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 제2 레이저 신호는 100 ps보다 큰 펄스 폭을 특징으로 하는 복수 개의 펄스를 갖도록 선택되는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 16

제15항에 있어서, 상기 제2 레이저 신호는 제3 레이저 신호의 피크 출력보다 실질적으로 큰 피크 출력을 갖도록 선택되는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 17

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 제1, 제2 및 제3 레이저 신호 중 적어도 하나는 금속간 화합물의 형성을 억제하도록 선택되는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 18

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 제1, 제2 및 제3 레이저 신호 중 적어도 하나는 레이저 용접부의 표면의 평활도를 향상시키도록 선택되는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 19

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 방법은 키 홀을 형성하는 단계 및 키 홀을 폐쇄하도록 선택되는 제4 레이저 신호를 제공하는 단계를 포함하고,

상기 제4 레이저 신호는 상기 레이저 펄스 또는 상기 연속파 레이저 빔 중 하나를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 20

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 레이저는 4 미만의 빔 품질( $M^2$ )을 특징으로 하는 것인 레이저 용접 방법.

#### 청구항 21

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 레이저는 나노초 레이저인 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 22**

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 레이저는 1000 nm 내지 3000 nm의 파장을 특징으로 하는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 23**

제11항 또는 제12항에 있어서, 방법은, 레이저로 제1 재료에 홀을 형성하는 단계; 레이저로 제1 및 제2 재료 중 적어도 하나를 용융하는 단계; 및 제1 및 제2 재료 중 적어도 하나를 홀 내로 유동시키는 단계를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 24**

제23항에 있어서, 상기 제1 재료와 제2 재료는 용접부에서 실질적으로 혼합되지 않은 상태로 있는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 25**

제23항에 있어서, 상기 홀은 제1 재료의 적어도 일부가 제2 재료로 주입되도록 레이저를 펄스화함으로써 형성되는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 26**

제23항에 있어서, 상기 홀은 제1 재료를 관통하지 않는 홀을 먼저 형성한 다음, 제1 재료의 적어도 일부가 제2 재료로 주입되도록 레이저를 펄스화함으로써 형성되는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 27**

제23항에 있어서, 상기 제1 재료는 상부면과 바닥면을 갖고, 바닥면은 상부면보다 제2 재료에 더 가깝고, 홀은 상부면에 폭을 갖고 바닥면에 폭을 가지며, 상부면에서의 폭은 바닥면에서의 폭보다 넓고, 방법은 제2 재료를 홀 내로 유동시키는 단계를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 28**

제11항 또는 제12항에 있어서, 레이저를 이용하여 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나를 재용융시키는 단계를 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 29**

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 용접부는 상기 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나에 적어도 하나의 공동을 포함하는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 30**

제11항 또는 제12항에 있어서, 펄스 반복 주파수는 10 kHz보다 크고, 스폿 크기, 펄스 플루언스, 펄스 폭, 및 펄스 반복 주파수는, 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나가 연속적인 레이저 펄스 사이에서 재고형화되어 용접부에서 금속간 상(intermetallic phase)의 형성을 억제하도록 선택되는 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 31**

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 스폿 크기는 100  $\mu\text{m}$ 보다 작은 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 32**

제31항에 있어서, 상기 스폿 크기는 60 $\mu\text{m}$ 보다 작은 것인 레이저 용접 방법.

**청구항 33**

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 용접부에 관한 것이다. 용접부는 하나 이상의 반사 재료들을 결합시킬 수 있다. 용접부는 낮은 용저항, 높은 전단 강도, 및 높은 박리 강도를 가질 수 있다. 본 발명은 또한 용접부를 포함하는 물품 및 레이저 용접 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 금, 구리, 알루미늄, 백금, 및 은과 같은 밝은 금속을 근적외선 스펙트럼(800 nm 내지 2500 nm)의 레이저 용접에 의해 접합하는 것은 도전 과제를 제시한다. 이는 밝은 금속의 표면이 반사율이 높은 동시에 흡수율이 떨어지기 때문이다. 표면 반사율을 극복하고 금속 표면에 레이저 에너지의 결합을 개시하기 위해, 고효율 밀도의 레이저 빔을 사용해야 한다.

[0003] 밝은 재료에 대한 빔의 기능은 빔 홀드 오프(반사) 및 흡수로부터 매우 좁은 작동 윈도우를 갖는 개별 기능이 가깝다. 처음에, 표면은 실질적으로 모든 레이저 광을 반사한다. 그러나, 일단 표면 반사율이 충분한 레이저 강도에 의해 극복되면, 표면의 용융이 개시된다. 이때, 반사율은 반사율이 80% 이상인 원래의 높은 반사 상태에서 일부 금속의 경우 반사율이 50% 미만일 수 있는 낮은 값으로 거의 즉시 천이된다. 이로 인해, 표면 상의 용융 풀(melt pool)이 매우 빠르게 성장하게 된다. 따라서, 제어하기가 매우 어렵다.

[0004] 얇고 낮은 질량의 공작물을 용접할 때에 문제가 증가된다. 고효율 밀도는 흔히 해롭고, 이로 인해 레이저 빔이

과도하게 관통되어 신뢰할 수 없는 접합부가 초래된다. 반대로, 레이저가 흡수도 한계값 바로 위의 낮은 출력 밀도에서 작동되는 경우, 펄스 지속 시간이 증가되어야 한다. 흡수된 에너지를 용접부를 둘러싼 영역으로 열 히트 싱크하면 공작물이 과열되게 되어 용접부가 약해지거나 없어질 수 있다.

[0005] 구리, 및 금과 은 등의 다른 밝은 금속의 레이저 용접의 현재 바람직한 방법은 가시 녹색 파장으로 방출하는 레이저의 사용을 포함한다. 가장 통상적인 레이저는 532 nm에서 방출하는 주파수 배가된 1064 nm 레이저이다. 이는 밝은 금속의 반사율이 근적외선 파장보다 532 nm에서 낮기 때문이다. 그러한 레이저를 이용한 밝은 금속들의 레이저 접합은 반복적이고 균일하지만 주파수 배가와 관련된 효율, 복잡성, 및 비용을 희생하는 용접부를 생성한다. 몇몇 용례에서, 효율과 생산성을 높이기 위해서는 532 nm에서 방출되는 레이저와 1064 nm에서 방출하는 제2 레이저를 결합해야 한다. 그러한 이중 파장 시스템은 용접 구조체를 분석하고 맞춤화하기 위해 정교한 빔 모니터링 및 실시간 분석을 이용하는 레이저 용접 프로세스의 페루프 모니터링을 필요로 한다. 그러한 진단 장치는 레이저 제어기에 피드백을 제공하기 위해 역 반사광 및 용접 풀 특성의 비디오 분석을 이용한다. 이들 시스템은 복잡하고 비용이 많이 든다.

[0006] 녹색 레이저의 사용은 이중 금속을 결합하는 용례를 특별히 다루지 않고 밝은 금속의 용접 접합을 수행하기 위해 채택되었다. 이중 금속의 종래의 용접은 계면에서 금속들의 회석 및 결과적인 열 조건의 특정 제어에 의존하여 이중 금속의 혼합을 최소화하고, 이로 인해, 소위 금속간 화합물(intermetallics)이 접합부에 초래된다. 큰 금속간 화합물 영역은 접합부에 작용하는 응력으로 균열되기 쉽고 균열은 파괴될 때까지 전체 접합부를 통해 전파된다.

[0007] 연속파 및 펄스 레이저를 이용한 레이저 용접은 연속적인 용접 프론트, 또는 용접부가 연속적인 이음매를 형성하는 중첩 스폿 용접부 중 하나로 널리 알려져 있다. 용접 프로세스에 의해 유발되는 재료의 결합은 약화점을 만들어 내고, 대부분의 용례에서 용납되지 않는다. 펄스 용접부는 통상적으로 마이크로초 및 밀리초 펄스를 이용하여 형성된다. 펄스는 재료가 용융되게 하고, 용융물은 재고형되어 용접부를 형성한다. 이중 재료를 용접할 때에, 용접부 계면은 접합되는 2개의 재료로부터 형성되고 통상적으로 취성이고 사실상 바람직하지 못한 화합물인 금속간 화합물을 함유할 수 있다. 따라서, 용접부는 기계적 하중 하에서 금속간 화합물층을 따라 우선적으로 파괴될 수 있다.

[0008] 높은 반사성 재료들 사이에 낮은 옴 저항 용접부를 형성하는 것은, 배터리, 태양 전지, 반도체 패키징, 및 전자 인쇄 회로 기판의 제조를 비롯하여 전자 및 전기 공학 산업에서 중요한 용례를 갖는다. 레이저 용접을 비롯하여 다양한 기술이 사용된다. 그러나, 높은 반사율로 인해 비교적 고가의 가시 레이저가 요구될 수 있다. 게다가, 용접 장비, 프로세스 및 결과적인 용접부는 빠른 제조 속도, 낮은 옴 저항, 높은 진단 강도, 및 높은 박리 강도의 현재 요건을 충족시키지 못한다. 따라서, 레이저 용접 이외의 프로세스가 흔히 사용된다.

[0009] 하나 이상의 반사성 금속, 예컨대 금, 구리, 알루미늄, 백금 및 은을 포함하는 공작물에서의 레이저 용접부는 흔히 신뢰할 수 없고 약하다. 이중 재료들을 포함하는 물품에서의 레이저 용접부는 통상적으로 취성이고 사실상 바람직하지 못하다.

[0010] 신뢰성 문제가 없는 밝은 및/또는 이중 금속들 및 합금들 사이의 용접부가 요구되고, 그러한 용접부를 제공하는 것이 본 발명의 목적이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

**과제의 해결 수단**

[0011] 따라서, 본 발명의 한가지 비제한적인 실시예에서, 제1 재료와 제2 재료 사이의 용접부가 제공되고, 제1 재료는 제1 금속 재료이고, 제2 재료는 제2 금속 재료이며, 용접부는 0.5 mm 내지 7 mm의 폭을 갖고, 용접부는 적어도 하나의 미소 용접부를 포함하며, 미소 용접부는 제1 재료의 표면에 평행하게 형성되는 용접 패턴을 형성하고, 미소 용접부는 20 μm 내지 100 μm의 특성 피처 크기를 갖는다.

[0012] 본 발명의 용접부는 전자 및 전기 공학 산업에서 중요한 용례를 갖는다. 1 μm 파장 윈도우에서 방출하고 약 1 mJ의 펄스 에너지를 갖는 나노초 섬유 레이저를 사용하여 반사성 금속들에 용접부를 생성하는 능력은 새롭고 예상되지 못한 것이다. 더욱이, 용접부는 종래 기술의 용접부보다 큰 강도와 신뢰성을 가질 수 있다. 용접부는,

예컨대 배터리, 태양 전지, 반도체 패키징, 및 전자 인쇄 회로 기관 등의 물품에 사용될 수 있다.

- [0013] 용접부는 적어도 하나의 미소 용접부를 포함한다. 미소 용접부는 용접 패턴을 형성한다. 용접 패턴은 복수 개의 미소 용접부로 형성될 수 있다. 대안적으로, 용접 패턴은 단일 미소 용접부로 형성될 수 있다. 용접 패턴은 나선형 형태의 선을 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 용접 패턴은 복수 개의 해치선을 포함할 수 있다. 해치선은 격자 형태일 수 있다. 해치선은 직사각형 격자를 형성할 수 있다. 해치선은 삼각형 격자를 형성할 수 있다. 용접 패턴은 바람직하게는 2차원 용접 패턴이다.
- [0014] 제1 재료와 제2 재료는 용접부에서 실질적으로 혼합되지 않은 상태로 있을 수 있다. "실질적으로 혼합되지 않은 상태"라 함은 단일의 공동 혼합된 합금상에서 함께 결합된 제1 재료와 제2 재료에 의해 형성되는 금속간 화합물 함량이 용접부의 재료를 20% 미만, 바람직하게는 10% 미만 포함한다는 것을 의미한다. 제1 재료와 제2 재료 사이의 계면에서 금속간 화합물 함량은 미리 결정된 기계적 특성과 움 저항을 갖는 접합부를 달성하기에 충분할 수 있다. 제1 재료와 제2 재료 사이의 계면에서 금속간 화합물 함량은 재결정화에 의해 야기되는 것과 같은 취성을 피하기에 충분히 작을 수 있다.
- [0015] 용접부는 실질적으로 비균질할 수 있다. 용접부는 제1 금속 재료와 제2 금속 재료의 별개의 구역을 포함할 수 있다.
- [0016] 제1 재료는 1 마이크론의 광 파장에서 90%보다 큰 반사율을 가질 수 있다.
- [0017] 제1 재료는 제2 재료와 상이한 용융 온도를 가질 수 있다.
- [0018] 미소 용접부는 제1 재료에 형성된 홀을 포함할 수 있다. 제1 재료는 제2 재료 내에 포함될 수 있다. 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나는 홀 내로 유동될 수 있다. 제1 재료는 상부면과 바닥면을 가질 수 있다. 바닥면은 상부면보다 제2 재료에 더 가까울 수 있다. 홀은 상부면에 폭을 갖고 바닥면에 폭을 가질 수 있다. 상부면에서의 폭은 바닥면에서의 폭보다 넓다. 홀은 카운터 싱크 홀일 수 있으며 미소 용접부는 리벳과 유사할 수 있다.
- [0019] 미소 용접부는 제2 재료 내에 제1 재료의 구역을 포함할 수 있다.
- [0020] 놀랍게도, 용접부는 밝은 및 이중 금속들 및 합금들을 접합하는 더 간단한 해법을 제공하여 용접부에 의해 형성된 각 접합부에서 일관되고 예측 가능한 결과를 산출한다. 제1 및 제2 재료 중 하나를 다른 재료와 실질적으로 혼합하지 않고 홀 내로 유동시키도록 배치하는 것은, 금속간 화합물이 형성되는 것을 방지하고, 취성 및 약한 용접부와 같은 금속간 화합물과 관련된 신뢰성 문제를 피하는 데에 일조한다. 일관되고 예측 가능한 결과는 비정질 금속 합금, 주물, 소결 합금 및 사출 성형 합금을 비롯한 다양한 합금으로 얻을 수 있다. 그 결과는 또한 이리듐, 텅스텐, 몰리브덴, 니오븀, 및 탄탈륨을 비롯한 내화성 금속으로 얻을 수 있다. 내화성 금속은 화학적으로 불활성이며, 철, 구리 및 니켈과 같은 금속보다 밀도가 높고 경도가 높으며, 용융 온도가 2000 °C보다 높은 것이 특징이다. 증가된 용접부 표면적은 더 많은 접촉 영역을 제공하며, 이는 다시 움 저항을 감소시킨다. 움 저항을 감소시키는 것은 배터리와 태양 패널의 효율을 증가시키는 데에 중요한 고려사항이다. 연결될 수 있는 부품들의 예로는, 구리와 알루미늄 연결부, 내부 배터리 등의 전기 연결부; 가요성 회로 요소와 얇은 섹션 버스바 사이의 낮은 프로파일의 전기 연결부; 의료 전자 장치용 금속 엔클로저; 전자 구성요소의 전자기 간섭 및 무선 주파수 차폐; 도선, 필라멘트, 및 와이어를 전기 연결부 및 회로 기관에 부착하는 것; 모바일 폰, 랩톱 컴퓨터, 텔레비전, 및 다른 소비자 전자 장치와 같은 가전 제품에서의 다른 전기 연결부; 금속 라벨 및 태그; 보석류에서의 은, 백금, 및 금 부품; 및 의료 장치, 센서 및 기타 전기 회로를 포함한다. 비정질 금속 합금은 금속 분말이 레이저로 소결되는 3차원 인쇄 형태인 추가 제조에 사용된다.
- [0021] 제1 재료는 구리, 알루미늄, 철, 니켈, 주석, 티타늄, 이리듐, 텅스텐, 몰리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 레늄, 은, 백금, 금, 및 이들 재료들 중 적어도 하나를 포함하는 합금으로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 금속을 포함할 수 있다.
- [0022] 제2 재료는 구리, 알루미늄, 철, 니켈, 주석, 티타늄, 이리듐, 텅스텐, 몰리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 레늄, 은, 백금, 금, 및 이들 재료들 중 적어도 하나를 포함하는 합금으로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 금속을 포함할 수 있다.
- [0023] 제1 재료 및 제2 재료에 대해 다른 금속이 채용될 수 있다. 제1 재료와 제2 재료는 동일하거나 상이할 수 있다.

- [0024] 폭은 0.5 mm 내지 2.5 mm일 수 있다.
- [0025] 특성 피쳐 크기는 미소 용접부의 폭일 수 있다. 특성 피쳐 크기는 40  $\mu\text{m}$  내지 100  $\mu\text{m}$ 일 수 있다.
- [0026] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 용접부를 포함하는 물품을 제공한다. 물품의 예로는, 스마트폰, 모바일 폰, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 텔레비전, 소비자 전자 장치; 배터리; 태양 전지; 집적 전자 회로 구성요소; 인쇄 회로 기판; 전기 연결부; 가요성 회로 요소와 얇은 섹션 버스바 사이의 낮은 프로파일의 전기 연결부; 의료 전자 장치용 금속 엔클로저; 및 소비자 전자 장치의 전기 연결부; 금속 라벨 및 태그; 보석류에서의 은, 백금, 및 금 부품이 있다.
- [0027] 본 발명은 또한 제1 재료를 제2 재료에 레이저 용접하는 방법을 제공하는 것으로서, 방법은,
- [0028] 제1 재료를 포함하는 제1 금속 부품을 제2 재료를 포함하는 제2 금속 부품 상에 배치하는 단계,
- [0029] 레이저 펄스 형태의 레이저 빔을 방출하는 레이저를 제공하는 단계,
- [0030] 제1 금속 부품의 표면에 대해 레이저 빔을 스캐닝하는 스캐너를 제공하는 단계,
- [0031] 레이저 펄스를 표면 상에 포커싱하는 대물 렌즈를 제공하는 단계,
- [0032] 스캐너가 표면에 대해 레이저 빔을 이동시키도록 스캐너를 제어하도록 된 제어기를 제공하는 단계를 포함하고,
- [0033] 레이저 빔을 표면에 대해 이동시키는 단계,
- [0034] 표면에 평행하게 형성되는 용접 패턴 형태로 적어도 하나의 미소 용접부가 형성되게 하는 스폿 크기 및 펄스 플루언스(pulse fluence)를 갖는 레이저 펄스를 포커싱하는 단계를 더 포함하고,
- [0035] 금속 표면에 대한 레이저 빔의 이동은 용접부가 0.5 mm 내지 7 mm의 폭을 갖도록 되며,
- [0036] 미소 용접부는 20  $\mu\text{m}$  내지 400  $\mu\text{m}$ 의 특성 피쳐 크기를 갖는다.
- [0037] 레이저는 제1 금속 부품에 복수 개의 용융 풀을 그리고 제2 금속 부품에 복수 개의 히트 스테이크(heat stake)를 형성하도록 작동될 수 있다. 각각의 히트 스테이크는 용융 풀들 중 각각 다른 용융 풀로부터 연장될 수 있고 원위 단부를 가질 수 있다. 방법은 제어기를 조정하여, 용융 풀들이 오버랩하게 하기에 충분히 작고 히트 스테이크의 원위 단부가 적어도 한 방향에서 서로 구별되고 분리되는 것을 보장하기에 충분히 큰 거리만큼 포커싱된 스폿들을 이격시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0038] 제어기는 제1 레이저 신호를 선택하여 표면 상에 용융 풀을 생성하고, 제2 레이저 신호를 선택하여 제2 금속 부품에 대한 제1 금속 부품의 용접을 개시하며, 제3 레이저 신호를 선택하여 제1 금속 부품을 제2 금속 부품에 용접하여 미소 용접부를 형성하도록 작동될 수 있다. 제1 및 제2 레이저 신호는 서로 동일하거나 상이할 수 있다. 제1, 제2, 및 제3 레이저 신호는 표면을 가로지르는 레이저 빔의 단일 패스에서 또는 표면을 가로지르는 레이저 빔의 복수 개의 패스에서 제공될 수 있다. 제1 및 제2 레이저 신호는 표면을 가로지르는 레이저 빔의 제1 패스에서 제공될 수 있고, 제3 레이저 신호는 표면을 가로지르는 레이저 빔의 제2 패스에서 제공될 수 있다.
- [0039] 제2 레이저 신호는 100 ps보다 큰 펄스 폭을 특징으로 하는 복수 개의 펄스를 갖도록 선택될 수 있다.
- [0040] 제2 레이저 신호는 제3 레이저 신호의 피크 출력보다 실질적으로 큰 피크 출력을 갖도록 선택될 수 있다.
- [0041] 제1, 제2 및 제3 신호 중 적어도 하나는 금속간 화합물의 형성을 억제하도록 선택될 수 있다.
- [0042] 제1, 제2 및 제3 신호 중 적어도 하나는 레이저 용접부의 표면의 평활도를 향상시키도록 선택될 수 있다.
- [0043] 용접 프로세스는 키 홀(key hole)을 형성하는 프로세스일 수 있다. 방법은 키 홀을 폐쇄하도록 선택되는 제4 레이저 신호를 제공하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0044] 제1 재료는 제2 재료보다 실질적으로 더 연성일 수 있다.
- [0045] 상기 레이저는 4 미만, 바람직하게는 2 미만, 그리고 보다 바람직하게는 1.3 미만의 빔 품질( $M^2$ )을 특징으로 할 수 있다.
- [0046] 레이저는 나노초 레이저일 수 있다.
- [0047] 레이저는 1000 nm 내지 3000 nm의 파장을 특징으로 할 수 있다. 레이저는 희토류 도핑된 섬유 레이저일 수 있

다.

- [0048] 방법은, 레이저로 제1 재료에 홀을 형성하는 단계, 레이저로 제1 및 제2 재료 중 적어도 하나를 용융하는 단계, 및 제1 및 제2 재료 중 적어도 하나를 홀 내로 유동시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0049] 제1 재료와 제2 재료는 용접부에서 실질적으로 혼합되지 않은 상태로 있을 수 있다.
- [0050] 홀은 제1 재료의 적어도 일부가 제2 재료로 주입되도록 레이저를 펄스화함으로써 형성될 수 있다.
- [0051] 홀은 제1 재료를 관통하지 않는 홀을 먼저 형성한 다음, 제1 재료의 적어도 일부가 제2 재료로 주입되도록 레이저를 펄스화함으로써 형성될 수 있다.
- [0052] 제1 재료는 상부면과 바닥면을 가질 수 있다. 바닥면은 상부면보다 제2 재료에 더 가까울 수 있다. 홀은 상부면에 폭을 갖고 바닥면에 폭을 가질 수 있으며, 상부면에서의 폭은 바닥면에서의 폭보다 넓다. 홀은 카운터싱크 홀일 수 있다.
- [0053] 방법은 레이저를 이용하여 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나를 재용융시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0054] 용접부는 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나에 적어도 하나의 공동을 포함할 수 있다.
- [0055] 펄스 반복 주파수는 10 kHz보다 클 수 있고, 100 kHz보다 클 수 있으며, 200 kHz보다 클 수 있다. 스폿 크기, 펄스 플루언스, 펄스 폭, 및 펄스 반복 주파수는, 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나가 연속적인 레이저 펄스 사이에서 재고형화되어 용접부에서 금속간 상(intermetallic phase)의 형성을 억제하도록 선택될 수 있다. 제1 재료와 제2 재료 중 적어도 하나가 신속하게 퀴칭되는 것을 보장하는 펄스 파형을 선택하는 것은 금속간 성장을 실질적으로 감소시키고, 이에 따라 취성 및 약한 용접부와 같이 금속간 화합물과 관련된 신뢰성 문제를 방지한다.
- [0056] 스폿 크기는 100  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다. 스폿 크기는 60  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다.
- [0057] 제1 재료는 제2 재료보다 높은 용융 온도를 가질 수 있다.
- [0058] 제1 재료는 1 마이크론의 광 파장에서 90%보다 큰 반사율을 가질 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0059] 이하, 본 발명의 실시예를 오직 일례로서 첨부 도면을 참조하여 설명한다.

- 도 1은 본 발명에 따른 용접부를 도시하고;
- 도 2는 연속적인 나선형 형태의 용접부를 도시하며;
- 도 3은 직사각형 해칭 형태의 용접부를 도시하고;
- 도 4는 직사각형 해칭 형태의 용접부를 도시하며;
- 도 5는 삼각형 해칭 형태의 용접부를 도시하고;
- 도 6은 본 발명에 따른 용접부를 생성하는 레이저 시스템을 도시하며;
- 도 7은 레이저에 의해 제1 재료에서 커팅된 홀을 도시하고;
- 도 8은 레이저에 의해 용융된 제2 재료를 도시하며;
- 도 9는 용융된 제2 재료가 레이저에 의해 제1 재료에 형성된 홀 내로 유동된 완성된 용접부를 도시하고;
- 도 10은 제1 재료를 관통하지 않는 홀을 도시하며;
- 도 11은 홀 아래에서 용융된 제2 재료를 도시하고;
- 도 12는 용융된 제2 재료가 레이저에 의해 제1 재료에 형성된 홀 내로 유동된 완성된 용접부를 도시하며;
- 도 13은 형성된 용접부를 도시하고;
- 도 14는 제2 재료 내에 제1 재료의 구역을 갖는 용접부를 도시하며;
- 도 15는 본 발명에 따른 용접부를 생성하는 레이저 시스템을 도시하고;

- 도 16은 펄스 레이저 파형의 파라미터를 도시하며;
- 도 17은 포커싱된 레이저 스폿의 파라미터를 도시하고;
- 도 18은 이격된 2개의 포커싱된 레이저 스폿을 도시하며;
- 도 19는 중첩하는 2개의 포커싱된 레이저 스폿을 도시하고;
- 도 20은 미소 용접부의 스티칭 패턴을 도시하며;
- 도 21은 용접부를 제조하는 동안에 펄스 레이저 출력이 변동되는 레이저 시스템을 도시하고;
- 도 22는 키 홀 용접을 이용하여 제조된 미소 용접부를 도시하며;
- 도 23은 미소 용접부의 단면을 도시하고;
- 도 24는 키 홀을 폐쇄하도록 사용되는 파형을 도시하며;
- 도 25는 코팅으로 코팅된 제1 재료를 도시하고;
- 도 26은 제2 재료에 용접된 제1 재료를 도시하는 것으로, 제1 및 제2 재료는 층들을 포함하며;
- 도 27은 금속간 화합물과 열 영향부를 포함하는 종래 기술의 용접부를 도시하고;
- 도 28은 열 영향부를 포함하는 본 발명에 따른 용접부를 도시하며;
- 도 29는 용접부를 이용하여 제2 금속 부품에 용접된 탭을 도시하고;
- 도 30은 펄스 플루언스와 흡수된 에너지 밀도의 그래프를 도시하며;
- 도 31은 본 발명의 방법에 따라 제조된 용접부의 예를 도시하고;
- 도 32는 도 31에 도시된 용접부의 진단 시험의 결과를 도시하며;
- 도 33은 본 발명에 따른 용접부를 이용하여 구리 포일에 의해 연결된 2개의 알루미늄 포일 시트를 도시하고;
- 도 34는 황동과 구리로 형성된 용접부를 도시하며;
- 도 35는 마스터 발진기 출력 증폭기 구성을 기초로 하여 나노초 펄스 섬유 레이저에서 펄스 반복 주파수를 갖는 펄스 형상의 발전을 도시하고;
- 도 36은 나노초 펄스 섬유 레이저에서 동일한 평균 출력을 갖는 2개의 펄스 파형을 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0060] 이하, 본 발명에 따른 용접부를 오직 일례로서 도 1을 참조하여 설명한다. 도 1은 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이의 용접부(3)를 도시하고, 제1 재료(1)는 제1 금속 재료이고, 제2 재료(2)는 제2 금속 재료이며, 용접부(3)는 0.5 mm 내지 7 mm의 폭(4)을 갖고, 용접부는 적어도 하나의 미소 용접부(8)를 포함하며, 미소 용접부(8)는 제1 재료(1)의 표면(6)에 평행하게 형성되는 용접 패턴(5)(확대하여 도시됨)을 형성하고, 미소 용접부(8)는 20 μm 내지 400 μm의 특성 피쳐 크기(7)를 갖는다.
- [0061] 제1 재료(1)의 표면(6)에 평행하게라 함은, 용접부(3) 근처의 표면(6) 상에, 또는 표면(6) 아래에, 예컨대 용접 풀 아래에 있는 것을 의미한다. 용접 패턴(5)은 바람직하게는 2차원 용접 패턴이다. 용접부(3)의 폭(4)이라 함은, 표면(6) 상에서 용접부(3)의 가장 작은 횡방향을 의미한다.
- [0062] 도 1에 도시된 용접 패턴(5)은 나선형 형태의 복수 개의 미소 용접부(8)를 포함한다. 미소 용접부(8)의 특성 피쳐 크기(7)는 미소 용접부(8)의 폭 또는 직경이다. 나선형의 아암(9)은 제1 거리(10)만큼 분리되어 있다. 미소 용접부(8)는 나선형의 아암(9) 내에서 제2 거리(11)만큼 분리되어 있다. 제2 거리(11)는 50 μm 내지 450 μm일 수 있다. 바람직하게는, 제2 거리(11)는 50 μm 내지 200 μm이다. 나선형은 원형일 수 있거나, 경주 트랙 형태와 같이 세장형일 수 있다. 다른 패턴이 또한 사용될 수 있다.
- [0063] 용접부(3)는 도 2에 도시된 용접 패턴(20)의 형태일 수 있고, 이 용접 패턴(20)은 나선형(22)의 형태인 단일 미소 용접부(21)를 포함한다. 미소 용접부(21)의 특성 피쳐 크기(7)는 미소 용접부(8)의 폭이다. 나선형의 아암(9)은 제1 거리(10)만큼 분리되어 있다.

- [0064] 용접 패턴(5)은 도 3, 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이 복수 개의 해치선(31)을 포함할 수 있고, 각각의 해치선(31)은 적어도 하나의 미소 용접부(8)를 포함한다. 용접 패턴(5)은 도 3 및 도 5에 도시된 바와 같이 적어도 하나의 미소 용접부(8)를 포함하는 둘레 링(33)을 포함할 수 있다. 유리하게는, 둘레 링(33)은 용접부(3)에서 응력을 경감하는 데에 일조할 수 있다. 미소 용접부(8)의 특성 피쳐 크기(7)는 미소 용접부(8)의 폭이다. 해치선(31)은 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이 직사각형 격자를 포함할 수 있고, 개별적인 해치선(31)은 제1 거리(10)만큼 그리고 제3 거리(32)만큼 분리되어 있다. 해치선(31)은 또한 도 5를 참조하여 도시된 바와 같이 삼각형 격자를 형성할 수 있다. 다른 격자 패턴이 또한 가능하다.
- [0065] 도 1 내지 도 5의 제1 거리(10)는 20  $\mu\text{m}$  내지 2000  $\mu\text{m}$ 의 범위일 수 있다. 제1 거리(10)는 50  $\mu\text{m}$  내지 500  $\mu\text{m}$ 의 범위일 수 있다. 바람직하게는, 제1 거리(10)는 50  $\mu\text{m}$  내지 250  $\mu\text{m}$ 의 범위이다. 보다 바람직하게는, 제1 거리(10)는 50  $\mu\text{m}$  내지 125  $\mu\text{m}$ 의 범위이다.
- [0066] 도 3 내지 도 5의 제3 거리(32)는 20  $\mu\text{m}$  내지 2000  $\mu\text{m}$ 의 범위일 수 있다. 제3 거리(32)는 50  $\mu\text{m}$  내지 500  $\mu\text{m}$ 의 범위일 수 있다. 바람직하게는, 제3 거리(32)는 50  $\mu\text{m}$  내지 250  $\mu\text{m}$ 의 범위이다. 바람직하게는, 제3 거리(32)는 50  $\mu\text{m}$  내지 125  $\mu\text{m}$ 의 범위이다. 제3 거리(32)는 제1 거리(10)와 동일할 수 있다.
- [0067] 용접부(3)는 도 6에 도시된 장치를 이용하여 제조될 수 있다. 장치는 빔 전달 케이블(69)에 의해 레이저 스캐너(67)에 연결된 레이저(61)를 포함한다. 레이저(61)는 대물 렌즈(68)에 의해 표면(6) 상에 포커싱되는 레이저 빔(62)을 방출한다.
- [0068] 레이저(61)는 바람직하게는 대략 1060 nm의 파장에서 방출하는 나노초 레이저이다. 레이저(61)에 대한 다양한 옵션은 나중에 설명한다.
- [0069] 나노초 펄스 레이저라 함은, 1 ns 내지 1000 ns 범위의 펄스 폭을 갖는 펄스를 방출할 수 있는 레이저를 의미한다. 그러한 레이저는 또한 더 짧은 펄스, 및 더 긴 펄스를 방출할 수 있고, 또한 연속과 복사선을 방출할 수 있다. 그러한 레이저는 용접부를 제조하는 데에 통상적으로 사용되는 종래 기술의 밀리초 레이저와 상이하다. 밀리초 레이저는 일반적으로 단일 펄스를 방출함으로써 용접부를 형성하며, 밀리초 레이저에 의해 형성된 용접부는 본 발명의 용접부(3)와 매우 상이한 시각적 외관을 갖는다. 놀랍게도, 본 발명의 용접부(3)는 높은 반사성 금속 및 내화성 금속에 형성될 수 있고, 보다 적은 에너지를 함유하는 보다 짧은 펄스로 인하여, 용접부(3)는 이중 금속, 높은 반사성 금속을 사용하는 경우에도 매우 강하다. 제1 재료(1) 및 제2 재료(2) 중 적어도 하나는 펄스 사이에서 매우 신속하게 냉각될 수 있어, 미소 용접부(8) 내에 금속간 화합물의 형성에 불충분한 시간을 남긴다. 용접부(3)는 또한 종래 기술로는 강하고, 신뢰성 있고, 예측 가능한 용접부를 달성하기 어려운 알루미늄 및 스테인레스강과 같은 금속의 조합으로 형성될 수 있다.
- [0070] 도 7 내지 도 9에 도시된 바와 같이, 제1 재료(1)와 제2 재료(2)는 미소 용접부(8)에서 실질적으로 혼합되지 않을 수 있다. 도 7은 레이저(61)에 의해 형성된 홀(71)을 도시한다. 도 8은 레이저에 의해 용융된 용융 제2 재료(81)를 도시한다. 도 8은 용융된 제2 재료(81)가 홀(71) 내로 유동되고 재고형화된 후에 형성된 미소 용접부(8)를 도시한다. 유동은 모세관 현상으로 인해, 레이저 펄스에 의한 기화된 물질의 급격한 팽창에 의해 야기된 증기압에 의해, 또는 표면 장력 구배로 인해 2개의 유체 사이의 계면을 따라 물질이 전달되는 마란고니 효과(Marangoni effect)에 의해 발생할 수 있다. 온도 의존성의 경우, 이 현상은 열 모세관 대류(또는 버나드-마란고니(Bernard-Marangoni) 대류)라고 명명될 수 있다.
- [0071] 도 7 내지 도 9를 참조하여 도시된 용접부(3)는 상부면(72)과 바닥면(73)을 갖는다. 홀(71)은 바닥면(73)에서의 폭(75)보다 넓은 상부면(72)에서의 폭(74)을 가질 수 있다. 중요하게는, 그러한 배열이 미소 용접부(8)의 박리 강도를 증가시킬 수 있다. 홀은 카운터 싱크 홀이며 미소 용접부(8)는 리벳과 유사할 수 있다. 폭(74)은 200  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다. 폭(74)은 50  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다. 폭(74)은 20  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다.
- [0072] 도 10은 제1 재료(1)를 관통하지 않은 홀(76)을 도시한다. 홀(76)은, 제1 재료(1)의 증기압을 홀(76)이 제1 재료(1)의 바닥면(73)까지 관통하는 레벨로 상승시키는 데에 펄스의 에너지가 충분하지 않다는 것을 보장함으로써 형성될 수 있다. 이는 더 낮은 피크 출력, 또는 20 ns 미만인 펄스 폭을 갖는 펄스와 같은 낮은 에너지 펄스를 전달할 수 있도록 레이저(61)를 선택함으로써 달성될 수 있다. 스캐너(67)는 홀(71)의 미리 결정된 형상을 얻기 위하여 제1 재료(1) 상에 레이저 빔(62)을 스캐닝하도록 사용될 수 있다. 높은 반사율 재료(예컨대, 1  $\mu\text{m}$  파장에서 약 90%보다 큰 반사율)의 경우, 피코초 레이저(1 ps와 1000 ps 사이의 펄스 폭을 갖는 펄스를 방출하는 레이저)가 유리하게 사용될 수 있다. 도 11은 레이저(61)에 의해 용융된 용융 제2 재료(81)를 도시한다. 이어서, 레이저(61)는, 홀(76)이 이제 제2 표면(73)까지 관통되어 홀(71)을 생성하고, 이에 따라 도 12를 참조

하여 도시된 바와 같이 제2 재료(2)의 적어도 일부가 홀(71) 내로 유동하게 하도록 펄스화될 수 있다. 제1 재료(1)의 적어도 일부는 도 12에 도시된 결과적인 미소 용접부(8)의 구역(121)에 의해 도시된 바와 같이 제2 재료(2)로 주입될 수 있다. 적어도 하나의 공동(122)이 또한 제2 재료(2)에 생길 수 있다. 공동(122)은 증기압에 의한 홀(71)을 통한 제2 재료(2)의 유동에 도움이 될 수 있다.

[0073] 도 13 및 도 14는, 제1 재료(1)의 반사율을 극복하는 데에 충분한 피크 출력과, 제2 재료(2)에 키 홀(133)을 형성하는 데에 충분한 에너지를 갖는 레이저(61)를 이용하여 형성된 미소 용접부(8)를 도시한다. 제1 재료(1)의 급격한 가열에 의해 야기된 증기압은 제1 재료(1)의 적어도 일부가 홀(71)로 주입되거나 홀(71)로부터 방출되게 한다. 이는 제2 재료(2)에 형성된 키 홀(133)로 주입된 재료(131)와, 홀(71)로부터 방출된 재료(132)에 의해 도시되어 있다. 재료(131, 132)는 기체상, 유체상, 고체상, 또는 이들 재료 상들 중 둘 이상의 조합일 수 있다. 이어서, 용융된 제2 재료(81)가 도 14를 참조하여 도시된 바와 같이 홀(71) 내로 유동될 수 있다. 제1 재료(1)의 구역(121)과 공동(122)이 미소 용접부(8)에 존재할 수 있다.

[0074] 도 1 내지 도 5를 참조하여 도시된 미소 용접부(8)는 도 9, 도 12 및 도 14를 참조하여 도시된 미소 용접부(8) 중 하나 이상일 수 있다.

[0075] 미소 용접부(8)는 실질적으로 비균질할 수 있다. 종래 기술의 용접부와 달리, 미소 용접부(8)는 실질적으로 혼합되지 않은 상태일 수 있다. "실질적으로 혼합되지 않은 상태"라 함은 단일의 공동 혼합된 합금상에서 함께 결합된 제1 재료(1)와 제2 재료(2)에 의해 형성되는 금속간 화합물 함량이 미소 용접부(8)의 재료를 20% 미만, 바람직하게는 10% 미만 포함한다는 것을 의미한다. 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이의 계면에서 금속간 화합물 함량은 미리 결정된 기계적 특성과 움 저항을 갖는 접합부를 달성하기에 충분할 수 있다. 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이의 계면에서 금속간 화합물 함량은 재결정화에 의해 야기되는 것과 같은 취성을 피하기에 충분히 작을 수 있다. 유리하게는, 이로 인해, 이종 금속들 사이에 용접부를 형성할 때에 발생할 수 있는 금속간 화합물로부터 생기는 취성의 또는 약한 용접부의 문제가 방지된다. 그 결과, 밝은 및 이종 금속들 및 합금들을 접합하고, 각 용접부에 일관되고 예측 가능한 결과를 생성하는 용접부(3)가 얻어진다.

[0076] 제1 재료(1)는 제2 재료(2)와 상이한 용융 온도를 가질 수 있다. 이로 인해, 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 하나가 다른 재료에 앞서 재고형화되고 유동하게 될 수 있어, 제1 및 제2 재료(1, 2)의 실질적인 혼합이 방지된다. 미소 용접부(8)의 성능을 최적화하기 위하여, 펄스 폭, 펄스 반복 주파수, 펄스 에너지, 및 피크 출력과 같은 레이저(61)의 파라미터가 조정될 수 있다. 제1 재료(1)는 제2 재료(2)의 용융 온도보다 적어도 50% 높거나 낮은 용융 온도를 가질 수 있다.

[0077] 제1 재료(1)는 제2 재료(2)의 영의 계수보다 작은 영의 계수에 의해 정의될 수 있다. 유리하게는, 제1 재료(1)는 제2 재료(2)보다 실질적으로 더 연성일 수 있다. 이는, 미소 용접부(8)가 금속 피로에 더 내성을 갖기 때문에 용접부(3)가 반복적으로 스트레인을 받는 경우에 중요한 이점을 갖는다.

[0078] 제1 재료(1)는 1 마이크론의 광 파장에서 90%보다 큰 반사율(145)을 가질 수 있다. 반사율(145)은 20C에서 정의될 수 있다.

[0079] 도 1 내지 도 5 및 도 7 내지 도 14를 참조하면, 제1 재료(1)는 구리, 알루미늄, 철, 니켈, 주석, 티타늄, 이리듐, 텅스텐, 폴리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 레늄, 은, 백금, 금, 및 이들 재료들 중 적어도 하나를 포함하는 합금으로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 금속을 포함할 수 있다. 합금은 청동, 황동, 니켈 티타늄 합금, 또는 비정질 합금일 수 있다. 제2 재료(2)는 구리, 알루미늄, 철, 니켈, 주석, 티타늄, 이리듐, 텅스텐, 폴리브덴, 니오븀, 탄탈륨, 레늄, 은, 백금, 금, 및 이들 재료들 중 적어도 하나를 포함하는 합금으로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 금속을 포함할 수 있다. 제1 재료(1) 및 제2 재료(2)에 대해 다른 금속이 채용될 수 있다. 제1 재료(1)와 제2 재료(2)는 동일하거나 상이할 수 있다.

[0080] 놀랍게도, 밝은 및 이종 금속들 및 합금들 사이의 용접부(3)는 일관되고 예측 가능한 품질을 갖는다. 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 하나를 다른 재료와 실질적으로 혼합하지 않고 홀 내로 유동시키도록 배치하는 것은, 금속간 화합물이 형성되는 것을 방지하고, 취성 및 약한 용접부와 같은 금속간 화합물과 관련된 신뢰성 문제를 피하는 데에 일조한다. 용접부(3)의 증가된 표면적은 더 큰 접촉 영역을 제공하고, 이는 다시 움 저항을 감소시킨다. 움 저항을 감소시키는 것은 배터리와 태양 패널의 효율을 증가시키는 데에 중요한 고려사항이다.

[0081] 폭(4)은 0.5 mm 내지 2.5 mm일 수 있다. 바람직하게는, 특성 피쳐 크기(7)는 40 μm 내지 100 μm이다.

[0082] 본 발명은 또한 개시된 도면에 따른 적어도 하나의 용접부(3)를 포함하는 물품을 제공한다. 물품의 예로는, 스마트폰, 모바일 폰, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 텔레비전, 및 다른 소비자 전자 장치; 배터리; 태양 전지;

집적 전자 회로 구성요소; 인쇄 회로 기판; 구리와 알루미늄 연결부, 내부 배터리 등의 전기 연결부; 가요성 회로 요소와 얇은 섹션 버스바 사이의 낮은 프로파일의 전기 연결부; 의료 전자 장치용 금속 엔클로저; 및 소비자 전자 장치의 전기 연결부; 금속 라벨 및 태그; 보석류에서의 은, 백금, 및 금 부품이 있다.

- [0083] 이제, 제1 재료(1)를 제2 재료(2)에 레이저 용접하는 본 발명에 따른 방법을 도 15를 참조하여 설명한다. 방법은,
- [0084] 제1 재료(1)를 포함하는 제1 금속 부품(151)을 제2 재료(2)를 포함하는 제2 금속 부품(152) 상에 배치하는 단계,
- [0085] 레이저 펄스(161) 형태의 레이저 빔(62)을 방출하는 레이저(61)를 제공하는 단계,
- [0086] 제1 금속 부품(151)의 표면(6)에 대해 레이저 빔(62)을 스캐닝하는 스캐너(67)를 제공하는 단계,
- [0087] 레이저 펄스(161)를 표면(6) 상에 포커싱하는 대물 렌즈(68)를 제공하는 단계,
- [0088] 스캐너(67)가 표면(6)에 대해 레이저 빔(62)을 이동시키도록 스캐너(67)를 제어하도록 된 제어기(153)를 제공하는 단계를 포함하고,
- [0089] 레이저 빔(62)을 표면(6)에 대해 이동시키는 단계,
- [0090] 표면(6)에 평행하게 형성되는 용접 패턴 형태로 적어도 하나의 미소 용접부(8)가 형성되게 하는 스폿 크기(174) 및 펄스 플루언스(176; 도 17을 참조하여 도시됨)를 갖는 포커싱된 스폿(2)을 형성하도록 레이저 펄스(161)를 포커싱하는 단계를 더 포함하고,
- [0091] 금속 표면에 대한 레이저 빔(62)의 이동은 용접부(3)가 0.5 mm 내지 7 mm의 폭(4; 도 1을 참조하여 도시됨)를 갖도록 되며,
- [0092] 미소 용접부(8)는 20  $\mu\text{m}$  내지 400  $\mu\text{m}$ 의 특성 피처 크기(7)를 갖는다.
- [0093] 레이저 복사선(62)은 광섬유(147) 및 시준 광학계(142)를 통해 스캐너(67)로 지향된다.
- [0094] 레이저 빔(62)은 바람직하게는 결과적인 용접 패턴(5)이 2차원 용접 패턴이 되도록 표면(6)에 대해 2차원으로 이동된다.
- [0095] 도 15는 파장(140) 및  $M^2$  값으로 정의되는 빔 품질(146)로 방출하는 레이저(61)를 도시한다. 파장은 1060 nm이고 빔 품질(146)은 1.6인 것으로 도시되어 있지만, 이는 비제한적인 것으로 의도된다.
- [0096] 제1 금속 부품(151)은 용접부(3)의 구역에서 5 mm 이하의 두께(143)를 가질 수 있다. 두께(143)는 2 mm보다 작을 수 있다. 두께(143)는 1 mm보다 작을 수 있다. 두께(143)는 0.5 mm보다 작을 수 있다. 제2 금속 부품(152)은 용접부(3)의 구역에서 적어도 100  $\mu\text{m}$ 의 두께(144)를 가질 수 있다. 두께(144)는 0.5 mm보다 작을 수 있다. 제1 금속 부품(151)은 80%보다 큰 반사율(145)을 가질 수 있다. 다른 반사율이 또한 가능하다.
- [0097] 도 16은 피크 출력(162), 평균 출력(163), 펄스 형상(164), 펄스 에너지(165)(펄스 아래에 빗금친 영역으로 도시됨), 펄스 폭(166), 및 펄스 반복 주파수(FR)(167)로 정의된 펄스(161)를 도시한다. 평균 출력(163)은 펄스 에너지(165)와 펄스 반복 주파수(167)의 곱과 동일하다. 펄스 폭(166)은 피크 출력(162)의 반치전폭값(FWHM)으로서 도시되어 있다. 또한, 피크 출력(162)의 10%에서 측정된 펄스 폭(168)이 도시되어 있다. 펄스(161)는 프리 펄스(160)를 포함하고, 프리 펄스 뒤에는 하부 출력 구역(169)이 뒤따를 수 있다.
- [0098] 도 17은 레이저 빔(62)을 표면(6) 상에 포커싱함으로써 형성된 스폿 크기(174)를 갖는 스폿(12)을 도시한다. 광 강도(172)는 레이저 빔(62)의 단위 영역당 출력이다. 광 강도(172)는 중심에서의 피크 강도(179)로부터  $1/e^2$  강도(173) 및 0으로 스폿(12)의 반경을 가로질러 변동한다. 스폿 크기(174)는 통상적으로 스폿(12)의  $1/e^2$  직경으로 취해지는데, 이 직경은 광 강도(172)가 피크 강도(179)의 양측부에서  $1/e^2$  강도(173)로 떨어지는 직경이다. 스폿(12)의 영역(175)은 통상적으로  $1/e^2$  직경 내에서 스폿(12)의 단면적으로 취해진다. 펄스 플루언스(Pulse fluence; 176)는 표면(6) 상의 스폿(12)의 단위 면적당 에너지로 정의된다. 펄스 플루언스는 통상적으로  $\text{J}/\text{cm}^2$  단위로 측정되며, 용접 품질이 펄스 플루언스(176)의 영향을 크게 받기 때문에 레이저 용접에 중요한 파라미터이다.
- [0099] 레이저(61), 시준 광학계(142) 및 대물 렌즈(68)는 표면(6)의 반사율을 극복하기 위해 충분한 광 강도(172)와

펄스 플루언스(176)가 얻어질 수 있도록 선택되어야 한다. 프리 펄스(160)는 제1 재료(1)의 반사율을 극복하기 위해, 그리고 도 7 내지 도 14를 참조하여 도시된 홀(71)을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 하부 출력 구역(169)은 제2 재료(2)를 용융시키도록 사용될 수 있다. 도 16을 참조하여 도시된 레이저 파라미터는 용접부(3)의 원하는 특성을 최적화시키도록 조정될 수 있다. 특정 용접부에 대한 최적의 펄스 플루언스(176)는 상이한 재료와 재료 두께 사이에서 변동된다. 금속 피스 부품을 용접하기 위한 최적의 펄스 플루언스(176)는 실험을 통해 결정될 수 있다.

[0100] 도 15의 레이저(61)는 제1 금속 부품(151)에 복수 개의 용융 풀(19)을 그리고 제2 금속 부품(152)에 복수 개의 히트 스테이크(heat stake)(17)를 형성하도록 작동될 수 있다. 각각의 히트 스테이크(17)는 용융 풀(19)들 중 각각 다른 용융 풀로부터 연장되고 원위 단부(154)를 갖는다. 방법은 제어기(153)를 조정하여, 용융 풀(19)들이 오버랩하게 하기에 충분히 작고 히트 스테이크(17)의 원위 단부(154)가 적어도 한 방향(155)에서 서로 구별되고 분리되는 것을 보장하기에 충분히 큰 거리만큼 포커싱된 스폿들을 레이저(61)와 스캐너(67)가 이격시키는 단계를 포함한다.

[0101] "서로 구별되고 분리된다"는 것은 히트 스테이크(17)의 원위 단부(154)가 모든 방향에서 실질적으로 평탄한 용접부를 형성하지 않는다는 것을 의미하며, 히트 스테이크(17)는 적어도 하나의 방향(155)에서 서로 적어도 부분적으로 분리될 수 있다. 대안으로, 히트 스테이크(17)는 금속 표면(6)에 실질적으로 평행한 모든 방향에서 서로 적어도 부분적으로 분리될 수 있다. "용접부"라는 것은 용접 또는 접합에 의해 이루어진 연결을 의미한다.

[0102] 연속적인 포커싱된 레이저 스폿(12)은 도 18에 도시된 바와 같이 분리될 수 있어, 레이저 스폿(12)의 중심들 사이의 거리(181)는 스폿 크기(34)보다 크다. 대안적으로 또는 추가적으로, 연속적인 포커싱된 레이저 스폿(12)은 거리(181)가 스폿 크기(34)보다 작도록 도 19에 도시된 바와 같이 중첩할 수 있다. 레이저 스폿(12)이 도 18에 도시된 바와 같이 분리되면, 히트 스테이크(17)는 1개보다 많은 방향(155)에서 서로 구별되고 분리될 수 있다.

[0103] 그러나, 레이저 스폿(12)이 도 19에 도시된 바와 같이 중첩되면, 결과적인 미소 용접부(8)는 도 20에 도시된 바와 같이 선형 용접부일 수 있다. 패턴(5)은 도시된 바와 같이 복수 개의 그러한 미소 용접부(8)로 형성되거나, 단일 미소 용접부(8)의 패턴(5)에 의해 형성될 수 있다. 후자의 경우에, 히트 스테이크(17)는 하나의 방향(155)에서만 서로 구별되고 분리된다. 도 17 및 도 18에서, 포커싱된 레이저 스폿(12)은 단일 레이저 펄스(161) 또는 다중 레이저 펄스(161)를 나타낼 수 있고, 전술한 논의는 레이저 스폿(12)이 미소 용접부(8)의 특성 피처 크기(7)를 증가시키도록 디더링(dithering)되는 경우까지 확장된다.

[0104] 각각의 히트 스테이크(17)는 펄스(161) 중 적어도 하나에 의해 형성되고, 펄스(161)의 갯수는 펄스 플루언스(176)에 따라 좌우된다. 10개 내지 100개의 펄스(161)가 통상적으로 1 mJ의 펄스 에너지(165)를 갖는 레이저에 사용된다. 포커싱된 스폿(12)의 중심들 사이의 거리(181)는 각각의 히트 스테이크(17)의 중심들 사이의 거리(18)에 근사할 것이다. 제어기(153)는 히트 스테이크(17)의 각각의 형성 동안 여전히 스캐너(67)가 포커싱된 스폿(12)을 유지하게 할 수 있다. 대안으로, 제어기(153)는 바람직하게는 거리(18)보다 작은 양만큼 히트 스테이크(17) 각각의 형성 동안 스캐너(67)가 포커싱된 스폿(12)을 디더링하게 할 수 있다. 거리(18)는 통상적으로 20  $\mu\text{m}$  내지 150  $\mu\text{m}$ , 바람직하게는 40  $\mu\text{m}$  내지 100  $\mu\text{m}$ 이다.

[0105] 용접부(3)는 중첩하는 용융 풀(19)과 히트 스테이크(17)에 의해 형성된 복합 용접부일 수 있다. 명료성을 위해, 도 15는 포커싱된 스폿(12)을 흑색 원으로서 도시하고, 용접부(3)를 3차원 묘사 내의 단면으로 도시한다. 용융 풀(19)들은 그들 사이의 경계없이 함께 용융된 것으로 도시되어 있고, 계면은 용융 풀(19)과 히트 스테이크(17) 사이에 도시되어 있다. 야금학적 연구에 따르면, 용융 풀(19)과 히트 스테이크(17) 모두는 제1 재료(1) 및 제2 재료(2) 모두로부터의 재료를 포함할 수 있다.

[0106] 금속들의 양호한 혼합이 달성될 수 있고, 이는 제1 및 제2 재료(1, 2) 모두가 스테인레스강인 경우에 유리할 수 있다. 이 경우에, 일반적으로, 용융 풀(19)과 히트 스테이크(17) 사이에는 잘 정의된 경계가 없다.

[0107] 히트 스테이크(17)의 원위 단부(154)는 날카로운 점에서 종료되는 것으로 도시되어 있다. 그러나, 반드시 그런 것은 아니고, 원위 단부(154)는 실질적으로 곡선형일 수 있고, 1개보다 많은 단부를 갖도록 분열될 수 있다.

[0108] 도 15를 참조하여 도시된 바와 같이, 방법은 가스 공급원(156)으로부터 실드 가스(155)를 제공하고, 실드 가스(155)를 용접부(3) 위에 적용하는 단계를 포함할 수 있다. 실드 가스는 용접부(3)의 산화를 방지하거나 용접부(3)를 청결하게 유지하기 위해 사용될 수 있다. 실드 가스(155)는 아르곤, 헬륨, 질소, 또는 레이저 용접에 일

반적으로 사용되는 기타 가스일 수 있다. 실드 가스(155)는 가스들의 혼합물일 수 있다. 가스 공급원(156)은 가스통, 노즐, 및 유동 제어 조절기를 포함할 수 있다.

- [0109] 용접부(3)는 히트 스테이크(7)의 원위 단부(154)에 실질적으로 삐죽삐죽한 표면을 갖는다. 이는 용접부의 평탄한 원위 단부가 유리하다고 생각되는 종래의 용접 실시와 직접적으로 대비되는 점이다. 평탄하지 않은 용접선은 종래 기술에서 우려의 원인으로 여겨진다.
- [0110] 장치는 바람직하게는 레이저 펄스(161)가 스캐너(67)를 제어하는 데에 사용되는 제어 신호(157)와 동기되도록 한다. 이는 제어기(153)로의 동기화 신호를 적용하거나, 제어기가 또한 레이저(61)를 제어하도록 제어기(153)를 조정함으로써 달성될 수 있다.
- [0111] 스캐너(67)는 갈바노미터 스캔 헤드일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 스캐너(67)는 이동 가능한 2차원 또는 3차원 병진 스테이지, 또는 로봇 아암일 수 있다. 스캐너(67)는 레이저 빔(62)을 제1 방향(158) 및 제2 방향(159)으로 이동시킬 수 있도록 되어 있다. 스캐너(67) 및 대물 렌즈(68)는 당업자에게 공지된 처리 광학계의 일부일 수 있다. 처리 광학계는 타일 미러(tiled mirror), 추가의 포커스 제어 및/또는 빔 형성 광학계와 같은 추가적인 광학 요소를 가질 수 있다.
- [0112] 도 21에 도시된 바와 같이, 방법은 제1 레이저 신호(201)를 선택하여 표면(6) 상에 용융 풀(19)을 생성하고, 제2 레이저 신호(202)를 선택하여 제2 금속 부품(152)에 대한 제1 금속 부품(151)의 용접을 개시하며, 제3 레이저 신호(203)를 선택하여 제1 금속 부품(151)을 제2 금속 부품(152)에 용접하여 미소 용접부(8)를 형성하도록 제어기(153)를 작동시키는 단계를 포함할 수 있다. 레이저 펄스(161)를 포함하는 제1, 제2 및 제3 레이저 신호(201, 202, 203)가 도시되어 있다. 바람직하게는, 제어기(53)는 제1, 제2 및 제3 레이저 신호(201, 202, 203)가 스캐너(67)와 동기화되도록 레이저(61)를 제어한다.
- [0113] 제1 단면(221)은 제1 시구간(204) 동안에 제1 재료(1)에 의한 제1 레이저 신호(201)의 흡수에 의해 야기된 용융 풀(19)을 도시한다. 반사성 금속들을 용접할 때에, 금속의 흡수는 용융 풀(19)이 생성될 때에 상당히 증가될 수 있다. 따라서, 용접 특성을 최적화시키기 위해, 반사율(145)이 변화되면, 제어기(153)가 제2 레이저 신호(202)를 선택하는 것이 중요할 수 있다.
- [0114] 제2 단면(222)은 제2 시구간(205)에서 용접의 개시를 도시한다. 제2 레이저 신호(202)는 용융 풀(19)이 제1 금속 부품(151)을 통해 제2 금속 부품(152)으로 연장되게 한다. 용융 풀(19)의 원위 단부(226)가 제2 금속 부품(152)을 관통하는 것으로 도시되어 있다. 이어서, 용융 풀(19)은 제1 금속 부품(151)과 제2 금속 부품(152) 모두로부터 금속을 수용하기 시작한다. 대안적으로 또는 추가적으로, 제1 금속 부품(151)으로부터의 금속이 제2 금속 부품(152)으로 관통될 수 있다. 양자의 경우에, 용접이 개시되었다고 말할 수 있다. 키 홀(133)이 존재하는 것으로 도시되어 있다. 키 홀(133)은 도 13을 참조하여 설명되었고, 도 22 및 도 23을 참조하여 더 설명될 것이다. 키 홀(133)은 제2 시구간(205) 동안 발생하지 않을 수 있고 전혀 발생하지 않을 수도 있다. 키 홀(133)이 존재하면, 대부분의 레이저 빔(62)은 키 홀(133)에 의해 흡수될 수 있다. 따라서, 반사성 금속들을 용접할 때에, 제2 레이저 신호(202)의 피크 출력(162) 및 펄스 에너지(165) 중 적어도 하나가 키 홀(133)로부터 발생하는 분출을 제한하기 위해 레이저 빔(62)의 흡수 증가에 따라 감소하는 것이 유리할 수 있다. 제어기(153)가 제3 레이저 신호(203)로 변경하지 않은 상태로 용접 프로세스가 계속되면, 제1 및 제2 금속 부품(151, 152)에 의해 흡수되는 에너지가 너무 많아질 수 있어, 키 홀(133)로부터 재료의 격렬한 분출, 및 이에 따라 특히 사람에게 삽입하기 위한 의료 장치 및 보석류와 같은 경우에 바람직하지 않은 거친 표면이 초래될 수 있다.
- [0115] 제3 단면(223)은 제3 레이저 신호(203)에 의해 제3 시구간(206)에서 제2 금속 부품(152)에 용접된 제1 금속 부품(151)을 도시한다. 이는 제1 및 제2 레이저 신호(201, 202)가 인가된 표면(6)을 가로지르는 레이저 빔(62)의 동일한 패스에서 또는 후속 패스에서 발생할 수 있다. 제1 재료(1)가 높은 반사성이면, 제3 레이저 신호(203)의 피크 출력(162)은 제2 레이저 신호(202)의 피크 출력(162)보다 작도록 선택될 수 있다. 이는 키 홀(133)로부터 용융된 재료의 덜 격렬한 분출을 유발하는 효과를 갖는다. 특정 상황에서, 제3 레이저 신호(203)는 연속 파 신호인 것이 바람직할 수 있다. 용융 풀(19)은 제1 및 제2 단면(221, 222)에서의 용융 풀(19)보다 큰 것으로 도시되어 있지만, 이는 비제한적인 것으로 의도된다. 레이저 빔(62)은 키 홀(133) 내로 포커싱된 것으로 도시되어 있다. 용융 풀(19)의 원위 단부(226)가 제2 금속 부품(152)으로 더 연장하는 것으로 도시되어 있다. 키 홀(133)은 제3 시구간(206) 동안에는 존재하지 않을 수 있다.
- [0116] 키 홀 용접은 도 22에 더 상세하게 도시되어 있다. 이 프로세스에서, 레이저 빔(62)은 제1 및 제2 금속 부품

(151, 152)을 용융시킬 뿐만 아니라 증기를 생성시킨다. 소산하는 증기는 용융 금속(225)에 압력을 가하고 부분적으로 용융 금속을 변위시킨다. 그 결과, 키 홀(133)이라고 하는 깊고 좁은 증기로 채워진 홀이 생긴다. 그러한 프로세스는 본 발명의 장치 및 방법에서 미소 용접부(8) 및 히트 스테이크(17)(존재한다면)의 형성에 수반될 수 있다.

[0117] 방법은 키 홀(133)이 용융 금속(225)에 의해 둘러싸이고, 레이저 빔(62)이 스캐닝되는 방향(226)으로 레이저 빔(62)과 함께 이동하는 방법일 수 있다. 용융 금속(225)은 키 홀(133)이 이동함에 따라 키 홀 뒤쪽에서 고형화되어 미소 용접부(8)를 형성한다. 미소 용접부(8)는 깊고 좁을 수 있다. 레이저 빔(62)은 레이저 빔이 여러 번 반사될 때에 키 홀(133)에서 높은 효율로 흡수된다. 도 23에 도시된 바와 같이, 미소 용접부(8)는 그 폭(229)보다 큰 깊이(228)를 가질 수 있다. 용접부 깊이(228)는 용접부 폭(229)보다 최대 10배 클 수 있다. 대안적으로, 용접부 깊이(228)는 용접부 폭(229)보다 10배 이상 클 수 있다.

[0118] 도 15 및 도 21을 참조하여 도시된 히트 스테이크(17)는 도 23에 도시된 미소 용접부(8)의 적어도 일부를 형성할 수 있다. 폭(229)은 도 1 내지 도 5 및 도 15를 참조하여 도시된 특성 피쳐 크기(7)일 수 있다. 히트 스테이크(17)이라 함은 제2 금속 부품(152)으로 관통한 용접부를 의미한다. 히트 스테이크(17)는 제2 금속 부품(152)을 관통한 스파이크와 유사할 수 있다. 대안적으로, 히트 스테이크(17)는 그 길이를 따라 선형 또는 곡선형일 수 있는 깊은 관통 용접부일 수 있다. 제1 및 제2 재료(1, 2)는 히트 스테이크(17)에서 함께 혼합될 수 있거나, 실질적으로 혼합되지 않을 수 있다. 대안적으로, 히트 스테이크(17)는 주로 제1 재료(1)를 포함할 수 있다.

[0119] 예컨대, 실질적으로 상이한 용융 온도를 갖는 재료들을 용접할 때와 같이 특정한 경우에, 키 홀(133)이 적절하게 폐쇄되지 않아 용접부(3)에 공동(122)을 남겨둘 수 있다. 이는 도 24에 대해 도시된 제4 레이저 신호(240)를 제공함으로써 해결될 수 있는데, 이 레이저 신호(240)는 키 홀(133)을 폐쇄하도록 선택된다. 제4 레이저 신호(240)의 평균 출력(153)은 시간에 따라 감소될 수 있다. 도 24에서, 제4 레이저 신호(240)는 제3 레이저 신호(203)의 펄스 반복 주파수(167)보다 작은 펄스 반복 주파수(167)를 갖는 복수 개의 펄스(161)를 포함한다. 게다가, 피크 출력(162)은 시간에 따라 감소된다. 다른 제4 레이저 신호(240)가 또한 가능하다.

[0120] 다시, 도 21을 참조하면, 미소 용접부(8)는 냉각된 후에 단면으로 도시되어 있다. 미소 용접부(8)는 제2 금속 부품(152)으로 연장되는 선택적 히트 스테이크(17)를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 또한, 용접부(3)의 표면상의 재료(132), 및 제2 금속 부품(152) 내의 공동(122)이 도시되어 있다. 재료(132)와 공동(122)은 도 13을 참조하여 이미 설명되었다. 도 1 내지 도 14를 참조하여 설명된 바와 같이, 패턴(5)은 도 21에 도시된 복수 개의 미소 용접부(8), 또는 패턴(5)을 형성하는 단일의 미소 용접부(8)를 포함할 수 있다.

[0121] 용접 방법은 이하의 기준들 중 하나 이상에 대해 개선되거나 최적화될 수 있다: (i)재료(132)의 제거 또는 감소, (ii)공동(122)의 제거 또는 감소, (iii)용접부(3)의 표면 거칠기의 감소 또는 표면 개선, (iv)용접부(3)를 형성하는 데에 걸리는 시간의 감소, (v)용접부(3)의 강도, 및 (vi)용접부(3)의 신뢰성. 최적화는 제1, 제2, 제3 및 제4 레이저 신호(201, 202, 203, 240) 중 하나 이상의 선택, 대물 렌즈(68)의 선택 및 포커싱, 그리고 스캐너(67)의 스캐닝 속도의 선택을 통해 달성될 수 있다. 최적화는 실험을 통해 달성될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 신호(201, 202, 203) 중 적어도 하나는 금속간 화합물의 형성을 억제하도록 선택될 수 있다. 이는 용접부(3)의 강도 및 신뢰성을 증가시켜야 한다. 상이한 재료 및 두께(143, 144)에서 용접부를 최적화하기 위한 파라미터는 제어기(153) 및 레이저(61)에 저장될 수 있다.

[0122] 미소 용접부(8)는 표면(6) 위에서 레이저 빔(62)의 단일 패스에 의해, 또는 표면(6) 위에서 레이저 빔(62)의 다중 패스로 형성될 수 있다. 제1, 제2 및 제3 레이저 신호(201, 202, 203)는 미소 용접부(8)를 형성할 때에 레이저 빔(62)의 단일 패스에서 제공될 수 있다. 대안적으로, 제1 및 제2 레이저 신호(201, 202)는 표면(6) 위에서 레이저 빔(62)의 패스에서 제공될 수 있고, 제3 레이저 신호(203)는 표면(6) 위에서 레이저 빔(62)의 다른 패스에서 제공될 수 있다.

[0123] 특정한 경우에, 용접부(3)를 형성하는 방법은 가능한 한 간단하고, 바람직하게는 상이한 재료들에 대해 동일한 단계를 이용하는 것이 중요하다. 이 경우, 제1, 제2, 제3 및 제4 레이저 신호(201, 202, 203 및 240) 중 적어도 2개는 동일한 파형을 갖는 펄스(161)를 포함할 수 있다.

[0124] 도 15 및 도 21과 관련하여 설명된 본 발명의 방법은 도 7 내지 도 14를 참조하여 설명된 단계들을 포함할 수 있다. 방법은, 레이저(61)로 제1 재료(1)에 홀(71)을 형성하는 단계, 레이저(61)로 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하는 단계, 및 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 유동시키는 단계를 포함할 수 있다.

제1 및 제2 재료(1, 2)는 홀(71) 내로 유동될 수 있다. 제1 재료(1)와 제2 재료(2)는 도 8에 도시된 바와 같이 미소 용접부(8)에서 실질적으로 혼합되지 않은 상태로 남아 있을 수 있다. 홀(71)은 도 12 및 도 13에 도시된 바와 같이 제1 재료(1)의 적어도 일부가 제2 재료(2)로 주입되도록 레이저(61)를 펄스화함으로써 형성될 수 있다.

- [0125] 홀(71)을 형성하는 단계는 제1 재료(1)를 절단하는 단계를 포함할 수 있다. 절단이라 함은 커팅 또는 조각을 의미한다. 단계는 제2 재료(2)를 절단하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0126] 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하고 유동시키는 단계는 미소 용접부(8) 위에서 레이저 빔(62)의 추가 패스에서 제공될 수 있다.
- [0127] 홀(71)을 형성하는 단계는 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이에 미소 용접부(8)를 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 그러나, 미소 용접부(8)는 필요한 강도, 구조 또는 외관을 갖지 않을 수 있다. 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하고, 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 유동시키는 단계는 미소 용접부(8)의 강도, 구조 또는 외관을 향상시킬 수 있다. 바람직하게는, 도 16을 참조하여 설명된 레이저 파라미터의 일부 또는 전부는 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하고 유동시킬 때에 미소 용접부(8)에서 금속간 화합물(281)의 형성을 억제하도록 선택된다.
- [0128] 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하는 단계는 펄스 플루언스(176)가 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 하나의 재료를 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 다른 재료보다 우선적으로 용융시키도록 레이저(61)를 작동시키는 단계를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 하나의 재료를 우선적으로 용융시키는 것은 금속간 화합물(281)의 형성을 억제할 수 있다.
- [0129] 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나를 용융하는 단계는 제1 및 제2 재료(1, 2) 모두를 용융시키는 펄스 플루언스(176)와 펄스 반복 주파수(167)를 갖는 레이저(61)를 작동시키는 단계를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 펄스 플루언스(176)와 펄스 반복 주파수(167)는 제1 및 제2 재료(1, 2) 중 적어도 하나가 연속적인 펄스(161) 사이에서 고형화되도록 선택된다. 이는 미소 용접부(8)에서 금속간 화합물의 형성을 억제할 수 있다.
- [0130] 제1 재료(1)는 10 mJ 이하의 펄스 에너지(165)에 노출될 때에 용융될 수 있다. 펄스 에너지(165)는 4 mJ 이하일 수 있다. 펄스 에너지(165)는 1mJ 이하일 수 있다. 펄스 에너지(25)는 100 μJ 이하일 수 있다. 펄스 에너지(25)는 10 μJ 이하일 수 있다. 더 두꺼운 재료는 더 얇은 재료보다 큰 펄스 에너지(165)를 필요로 한다.
- [0131] 도 10 내지 도 12에 도시된 바와 같이, 홀(71)은 제1 재료(1)를 관통하지 않는 홀(76)을 먼저 형성한 다음, 제1 재료(1)의 적어도 일부가 제2 재료(2)로 주입되도록 레이저(61)를 펄스화함으로써 형성될 수 있다.
- [0132] 홀(71)을 형성하는 단계는 100 ns 이하인 반치전폭값에 의해 정의되는 펄스 폭(166)을 갖는 적어도 하나의 펄스(100)를 갖는 레이저(61)를 펄스화하는 단계를 포함할 수 있다. 펄스 폭(166)은 10 ns 이하일 수 있다. 레이저(61)는 나노초 펄스 레이저일 수 있다.
- [0133] 홀(71) 또는 홀(76)을 형성하는 단계는 20 ns 이하인 펄스 폭(166)을 갖는 적어도 하나의 펄스(161)를 갖는 레이저(61)를 펄스화하는 단계를 포함할 수 있다. 펄스 폭(166)은 1 ns 이하일 수 있다. 펄스 폭(166)은 100 ps 이하일 수 있다. 펄스 폭(166)은 10 ps 이하일 수 있다. 레이저(61)는 피코초 펄스 레이저일 수 있다. 바람직하게는, 레이저(61)는 피코초 펄스(1 ns 미만)와 나노초 펄스(1 μs 미만)를 모두 방출할 수 있도록 되어 있다. 1 ns 미만의 펄스 폭(107)을 갖는 이점은 펄스(161)에 제공되는 에너지가 적고, 이는 표면 거칠기 또는 제1 재료(1)를 통한 관통없이 제1 재료(3)에 홀(76)을 절단하는 것에 일조할 수 있다는 것이다. 홀(71) 또는 홀(76)을 절단하는 데에 다중 펄스(161)가 채용될 수 있다.
- [0134] 본 발명의 장치 또는 방법에 의해 형성된 레이저 용접부(3)는 자생적일 수 있으며, 즉 용접부(3)를 형성할 때에 추가적인 (필러) 재료가 추가되지 않는다.
- [0135] 도 6, 도 15 및 도 21을 참조하면, 레이저(61)는 섬유 레이저, 고체 로드 레이저, 고체 디스크 레이저, 또는 이산화탄소 레이저와 같은 기체 레이저, 또는 이들의 조합일 수 있다. 레이저(61)는 펄스(161)를 생성하기 위한 음향-광학 변조기와 같은 외부 광 변조기를 갖는 레이저 소스일 수 있다. 레이저(61)는 Q-스위치 레이저, 변조된 연속파 레이저, 또는 준연속파 레이저일 수 있다. 레이저(61)는 바람직하게는 마스터 발진기 출력 증폭기이다. 레이저(61)는 바람직하게는 레이저 펄스(161) 뿐만 아니라 연속파 출력을 출력할 수 있다.

- [0136] 레이저(61)는 1 내지 25인 빔 품질  $M^2$  값(109)에 의해 정의될 수 있다.  $M^2$  값(109)은 1 내지 10, 1 내지 5, 또는 2 내지 5의 범위일 수 있다. 바람직하게는,  $M^2$  값(109)은 1.3 내지 2의 범위일 수 있다.  $M^2$  값(109)은 1.3보다 작을 수 있다.
- [0137] 레이저(61)는 바람직하게는 이테르븀 도핑된 섬유 레이저, 에르븀 도핑된 섬유 레이저, 홀뮴 도핑된 섬유 레이저, 또는 틀륨 도핑된 섬유 레이저와 같은 희토류 도핑된 나노초 펄스 섬유 레이저이다. 이들 레이저는 통상적으로 1  $\mu\text{m}$ , 1.5  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$  및 2  $\mu\text{m}$  파장 윈도우 각각에서 파장(140)의 레이저 복사선을 방출한다.
- [0138] 레이저(61)는 대략 10 ps 내지 3000 ns, 바람직하게는 100 ps 내지 1000 ns, 보다 바람직하게는 1 ns 내지 1000 ns의 펄스 폭(66)을 갖는 레이저 펄스(161)를 방출할 수 있는 레이저일 수 있다. 레이저는 또한 연속파 레이저 신호를 방출할 수 있다. 바람직하게는, 레이저(61)는 용접부(3)를 생성하는 비용 및 특성을 최적화하도록 선택될 수 있는 다양한 펄스 형상 및 펄스 파라미터를 갖는다. 그러한 레이저의 일례로는 영국 사우스햄프턴 소재의 SPI Lasers UK Ltd사에 의해 제조된 나노초 이테르븀 도핑된 섬유 레이저인 모델 SPI G4 70 EP-Z이 있다.
- [0139] 레이저는 1059 nm 내지 1065 nm 범위의 파장(140)에서 방출한다. 표 1은 레이저의 조작자에 의해 선택될 수 있는 36개의 파형(wfm 0 에서 wfm 35까지)에 대한 펄스 파라미터 데이터를 나타낸다. 각각의 파형은 최대 펄스 피크 출력이 얻어지는 최소 펄스 반복 주파수(PRFO)와, 최소 펄스 피크 출력이 얻어지는 최대 펄스 반복 주파수(PRFmax)를 갖는다. 최대 펄스 에너지( $E_{\text{max}}$ )는 최소 펄스 반복 주파수(PRFO)에서 얻어지고, 레이저가 최소 펄스 반복 주파수 아래에서 작동되면 증가되지 않는다. 최소 펄스 반복 주파수(PRFO)에서 얻어질 수 있는 피크 출력은  $E_{\text{max}}$ 에 대응하는 피크 출력이고, 우측 컬럼에 도시되어 있다.
- [0140] 도 35는 펄스 형상(164)이 표 1에 나타난 파형(WF0)에 대한 펄스 반복 주파수(167)에 따라 어떻게 변하는지를 도시한다. 펄스 반복 주파수(167)가 증가함에 따라, 피크 출력(162)은 감소하고, 반출력전폭(FWHP; full width half power) 펄스 폭(166)은 10 kHz에서의 대략 20 ns로부터 560 kHz에서의 대략 220 ns로 증가된다. 평균 출력(163)은 각 펄스 파형에 대해 대략 70 W이고, 펄스 에너지(165)는 펄스 반복 주파수(167)가 증가함에 따라 감소한다.

표 1

wfm	PRF0 (kHz)	PRFmax (kHz)	최대 펄스 에너지, Emax(mJ)	Emax에서 FWHM 펄스 폭(ns)	10%에서 펄스 폭 (ns)	Emax에서 피크 출력 (kW)
0	70	1000	1.0	46	240	13
1	88	1000	0.87	45	220	10
2	95	1000	0.76	42	200	10
3	102	1000	0.71	40	175	10
4	105	1000	0.69	38	160	11
5	112	1000	0.64	40	145	10
6	119	1000	0.61	35	130	11
7	126	1000	0.57	33	120	11
8	130	1000	0.56	32	115	11
9	137	1000	0.53	35	105	10
10	144	1000	0.50	30	100	10
11	151	1000	0.48	36	90	10
12	158	1000	0.46	37	80	11
13	168	1000	0.43	26	65	10
14	179	1000	0.40	33	58	10
15	189	1000	0.38	27	60	10
16	200	1000	0.36	34	55	10
17	214	1000	0.34	34	50	10
18	228	1000	0.32	33	45	10
19	245	1000	0.29	32	40	10
20	266	1000	0.27	26	36	10
21	291	1000	0.25	26	33	10
22	315	1000	0.23	25	30	10
23	350	1000	0.21	23	26	10
24	403	1000	0.18	19	23	9
25	490	1000	0.15	16	20	9
26	600	1000	0.12	13	16	9
27	850	1000	0.08	9	10	8
28	1000	1000	0.07	9	10	7
29	70	900	1.0	72	270	8
30	70	800	1.0	75	295	8
31	70	600	1.0	85	320	7
32	70	600	1.0	90	350	7
33	70	600	1.0	95	380	6
34	70	600	1.0	100	420	6
35	70	500	1.0	110	470	6
36	70	500	1.0	115	520	5

[0141]

[0142]

[0143]

[0144]

[0145]

[0146]

[0147]

[0148]

표 1: 예 1, 예 2 및 예 11 내지 예 13에 사용된 레이저의 펄스 파라미터.

도 36은 최소 펄스 반복 주파수(PRF0)에서 표 1에 나타난 2개의 상이한 펄스 파형에 대한 펄스 형상(164)을 도시한다. 평균 출력(163)은 각 펄스 파형에 대해 대략 70 W이다.

레이저는 또한 제3 레이저 신호(203) 또는 제4 레이저 신호(240)로서 선택될 수 있는 연속파(cw; continuous wave) 레이저 빔(62)을 제공할 수 있다.

1 μm 파장 윈도우에서 방출하고 약 1 mJ의 펄스 에너지를 갖는 나노초 섬유 레이저를 사용하여 높은 반사성 금속들을 용접하는 능력은 새롭고 예상되지 못한 것이다.

도 21을 참조하면, 제2 레이저 신호(202)는 복수 개의 펄스(161)를 갖도록 선택될 수 있다. 펄스 폭(166)은 100 ps보다 클 수 있다.

제2 레이저 신호(202)는 제3 레이저 신호(203)의 피크 출력(26)보다 실질적으로 큰 피크 출력(162)을 갖도록 선택될 수 있다.

제2 레이저 신호(202)는 제3 레이저 신호(203)의 펄스 반복 주파수(167)보다 실질적으로 작은 펄스 반복 주파수(167)를 갖도록 선택될 수 있다. 제2 레이저 신호(202)의 평균 출력(163)은 제3 레이저 신호(203)의 평균 출력(163)과 실질적으로 동일한 평균 출력을 특징으로 할 수 있다. 제3 레이저 신호(203)는 연속파 신호일 수

있고, 이는 제1 재료(1)에서 증기압을 증가시키고 미소 용접부(8)로부터 재료의 분출을 초래하는 펄스 에너지(165)의 급속한 흡수를 피하기 때문에 반사성 금속을 용접할 때에 유리할 수 있다. 제2 레이저 신호(202) 및 제3 레이저 신호(203)는 제1 재료(1) 위에서 레이저 빔(62)의 동일한 패스에서, 또는 상이한 패스에서 적용될 수 있다.

- [0149] 제1 레이저 신호(201)의 피크 출력(162)은 제2 레이저 신호(202)의 피크 출력(162)보다 큰 피크 출력(162)을 갖도록 선택될 수 있다. 이는 제1 재료(1)의 반사율(145)을 극복하기 위해 높은 피크 출력(162)이 요구될 때에 제1 재료(62)에 레이저 빔(52)을 결합하는 데에 일조할 수 있다.
- [0150] 제1 레이저 신호(201)의 펄스 에너지(165)는 제2 레이저 신호(202)의 펄스 에너지(65)보다 작은 펄스 에너지(165)를 갖도록 선택될 수 있다.
- [0151] 제2 레이저 신호(202)의 펄스 폭(166)은 2.5 ms 미만, 바람직하게는 1 ms 미만, 보다 바람직하게는 100 ns 미만 이 되도록 선택될 수 있다.
- [0152] 제2 레이저 신호(202)의 펄스 반복 주파수(167)는 1 kHz보다 크도록, 바람직하게는 10 kHz보다 크도록, 보다 바람직하게는 100 kHz보다 크도록 선택될 수 있다.
- [0153] 최적화된 용접 프로세스는 레이저 용접부(3)의 표면(231)의 평활도를 향상시키는 용접 프로세스일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 최적화된 용접 프로세스는 레이저 용접부(3)의 강도를 증가시키는 용접 프로세스일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 최적화된 용접 프로세스는 레이저 용접부(3)를 형성하는 데에 걸리는 시간을 감소시키는 용접 프로세스일 수 있다.
- [0154] 도 25에 도시된 바와 같이, 제1 재료(1)는 코팅(251)으로 코팅될 수 있다. 코팅(251)은 니켈 또는 크롬과 같은 금속 도금일 수 있거나, 양극 산화와 같은 화학적으로 유도된 코팅일 수 있다. 코팅(251)은 폴리머 코팅일 수 있다.
- [0155] 제1 금속 부품(151)은 도 26을 참조하여 도시된 바와 같이 다수의 층(231)을 포함할 수 있다. 다수의 층(231)은 동일한 금속의 폴딩된 시트, 동일한 금속의 층, 또는 상이한 금속의 층일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 제2 금속 부품(152)은 다수의 층(232)을 포함할 수 있다. 다수의 층(232)은 동일한 금속의 폴딩된 시트, 동일한 금속의 층, 또는 상이한 금속의 층일 수 있다. 층(231)은 층(232)과 동일한 금속, 또는 상이한 금속을 포함할 수 있다. 용접부(3)는 제1 금속 부품(151)을 제2 금속 부품(152)에 접합시키는 것으로 도시되어 있다. 용접부(3)는 제2 금속 부품(152)을 부분적으로 관통하는 것으로 도시되어 있다.
- [0156] 도 27은 예컨대 100 mJ 이상의 단일 고에너지 펄스를 사용하는 녹색 레이저에 의한 레이저 용접, 또는 준연속파 섬유 레이저에 의한 용접을 비롯하여 종래 기술을 사용하는 제1 금속 부품(151)과 제2 금속 부품(152) 사이의 용접 풀(270)을 포함하는 레이저 용접부(275)를 도시한다. 용접부(275)는 도 1에 도시된 용접부(3)와 유사한 전체 크기를 갖는다. 따라서, 용접 풀(270)은 도 1 내지 도 5 및 도 7 내지 도 14를 참조하여 도시된 바와 같이 용융될 때에 미소 용접부보다 상당히 크고, 보다 높은 열 질량을 가지며, 냉각하는 데에 시간이 더 걸리게 된다. 그 결과, 금속 혼합이 초래된다. 그러나, 혼합이 충분히 양호하지 않으면, 이로 인해 관련된 경계층(271)이 형성되고, 이 경계층은 이종 금속들을 용접할 때에 취성일 수 있는 금속간 화합물을 함유한다. 또한, 열에 의해 영향을 받지만 금속이 이동되지 않는 용접 풀(270) 둘레의 영역, 소위 열 영향부(HAZ; heat affected zone)(272)가 존재한다. 열 영향부(272)의 기계적 특성은 열적 열처리의 결과로서 실질적으로 열화될 수 있는데, 이 열처리는 일반적으로 최소화되어야 한다. 열 영향부(272)는 제1 금속 부품(151)의 상부면(273) 및 제2 금속 부품(152)의 바닥면(274) 모두에서 일반적으로 가시적이다(예컨대, 산으로 에칭한 후에).
- [0157] 경계층(271)은, 강철을 강철에 용접할 때, 그레인 계면을 따라 탄소 형성을 초래할 수 있어, 용접부(3)를 파손시키는 통로를 제공할 수 있다. 유사하게, 이종 금속들을 용접할 때에, 경계층(271)은 용해에서 고형화까지의 냉각 시간을 반영하는 그레인 구조를 갖는 금속간 화합물을 포함할 수 있다. 그러한 금속간 화합물은 사실상 취성인 경우가 많고, 이에 따라 용접 풀(270)에 약화점을 제공한다. 따라서, 경계층(271) 및 열 영향부(272)의 존재는 유사한 금속들의 용접이나 이종 금속들의 용접에서도 바람직하지 않다.
- [0158] 용접부(275)가 유사한 금속 또는 이종 금속으로 형성되더라도, 용접부(275)를 포함하는 재료의 기계적 특성은 제1 금속 부품(151)과 제2 금속 부품(152)을 포함하는 베이스 재료의 특성보다 약하게 된다. 열 영향부(272)는 또한 제1 금속 부품(151) 및 제2 금속 부품(152)의 외관 또는 화학적 조성에 영향을 미치는 경우에 문제가 된다.

- [0159] 박관 금속(1 mm 미만)을 용접할 때에 금속간 화합물층(271) 및 열 영향부(272)와 관련된 문제가 증가한다. 용접부가 냉각되는 데에 걸리는 시간과 관련된 다른 문제는 제1 금속 부품(151) 및 제2 금속 부품(152) 상의 폴리머와 같은 코팅에 대한 손상을 포함한다.
- [0160] 도 28은 도 1에 도시된 용접부(3)의 평면도를 도시한다. 여기서, 용접부(3)는 금속 표면(6) 위의 둘레에서 레이저 빔(62)을 래스터링(rastering)함으로써 달성된 원이다. 열 영향부(281)는 통상적으로 가시적이다(가능하게는 화학 에칭 후에). 그러나, 도 16 및 도 17을 참조하여 도시된 레이저(61) 및 레이저 펄스 파라미터의 적절한 선택에 의해, 일반적으로 바닥면에서 보이는 열 영향부는 존재하지 않는다. 그 이유는, 미소 용접부(8)가 용접 풀(270)보다 상당히 작은 질량을 갖고, 이에 따라 더 급속하게 냉각되기 때문이다. 유사하게, 미소 용접부(8)를 둘러싸는 금속간 화합물층(271)의 증거가 거의 없거나 전혀 없다. 이들 피처는 종래 기술의 용접 기법에 비해 큰 이점을 제공한다.
- [0161] 도 16 및 도 17을 참조하면, 본 발명의 방법은, 펄스 반복 주파수가 10 kHz보다 크고, 스폿 크기(174), 펄스 플루언스(176), 펄스 폭(166), 및 펄스 반복 주파수(167)가, 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 중 적어도 하나가 연속적인 레이저 펄스(161) 사이에서 재고형화되어 용접부(3)에서 금속간 상(intermetallic phase)의 형성을 억제하도록 선택되는 방법일 수 있다. 펄스 반복 주파수(167)는 100 kHz보다 클 수 있으며 200 kHz보다 클 수 있다. 펄스 반복 주파수(167)는 500 kHz보다 클 수 있다.
- [0162] 스폿 크기(174)는 100  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다. 스폿 크기는 60  $\mu\text{m}$ 보다 작을 수 있다. 제1 재료(1) 또는 제2 재료(2)는 다른 재료보다 높은 용융 온도를 가질 수 있다. 제1 재료(1)는 1 미크론의 광 파장에서 90%보다 큰 반사율(145)을 가질 수 있다.
- [0163] 도 29에 도시된 제1 금속 부품(152)은 코팅(293)으로 코팅된 금속 부품(292)을 포함할 수 있다. 코팅(293)은 니켈 또는 크롬과 같은 금속 도금일 수 있거나, 양극 산화와 같은 화학적으로 유도된 코팅일 수 있다. 제1 금속 부품(151)은 음료 캔에서 발견되는 것과 같은 탭(291)일 수 있다. 탭(291)은 용접부(3)를 이용하여 제2 금속 부품(152)에 용접된 것으로 도시되어 있다.
- [0164] 음료 캔은 종종 두께가 250  $\mu\text{m}$  미만인 알루미늄 박판[제2 금속 부품(152)]으로 제조된다. 음료 캔에서, 코팅(293)은 용접부(3)가 형성되기 전에 일반적으로 도포되는 폴리머 코팅일 것이다. 용접부(3)를 형성하는 방법이 코팅(293)을 열화시키지 않는 것이 중요하다. 본 발명의 장치 및 방법은, 종래 기술의 용접부와 비교하여 제2 금속 부품(152)에서 발생하는 열이 적기 때문에, 도 1 내지 도 24를 참조하여 도시된 미소 용접부(8)에 의해 이를 달성한다.
- [0165] 도 30은 펄스 플루언스(176) 및 흡수된 에너지 밀도(303)의 그래프를 도시하는데, 흡수된 에너지 밀도(303)는 레이저 펄스(161)에 의한 단위 표면적당 제1 금속 부품(151)과 제2 금속 부품(152)에 의해 흡수된 총 펄스 에너지(165)이다. 도 1 내지 도 5, 도 7 내지 도 15, 도 18 내지 도 24, 및 도 25를 참조하여 도시된 용접부(3)를 개시하기 위하여, 제1 펄스 플루언스 문턱값(301)과 적어도 동일한 펄스 플루언스(176)를 이용하는 것이 필요하다. 이는 금속 표면(6)의 용융을 개시하기 위한 것이다. 일단 금속 표면(6)이 용융하기 시작하면, 나머지 펄스(161)는 적어도 제2 펄스 플루언스 문턱값(302)과 동일한 펄스 플루언스(176)를 가져야 한다. 제2 펄스 플루언스 문턱값(302)은 제1 펄스 플루언스 문턱값(301)보다 실질적으로 작을 수 있다. 각각의 펄스(161)가 흡수됨에 따라, 펄스는 흡수된 에너지 밀도(303)에 기여한다. 포커싱된 지점(16) 각각에서 흡수된, 흡수된 에너지 밀도(303)는, 미소 용접부(8)가 제2 금속 부품(152)을 관통하기 시작하는 제1 에너지 밀도 문턱값(304)과 적어도 동일하지만, 용접부(3)가 허용 불가능하게 취성이 되는 제2 에너지 밀도 문턱값(305)보다는 작아야 한다. 너무 많은 에너지가 용접부(3)에 의해 흡수되면, 제1 및 제2 재료(1, 2)의 가열이 과도하게 되어 금속간 화합물이 형성할 충분한 시간과 약한 용접부(3)가 생긴다. 도 16 및 도 17을 참조하여 도시된 펄스 파라미터, 펄스(161)의 갯수, 및 포커싱된 스폿(12) 사이의 거리(181)를 변경시킴으로써, 용접부(3)의 제어성이 좋아지고, 또한 종래 기술에 비해 용접부 형성에 대한 제어, 및 그에 따른 기계적 특성이 개선된다. 바람직한 값은 상이한 재료, 및 재료의 두께에 대해 달라지고, 실험에 의해 구할 수 있다.
- [0166] 도 15 및 도 21을 참조하여 설명된 방법은 레이저(61)를 이용하여 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 중 적어도 하나를 재용융시키는 단계를 포함할 수 있다. 이는 용접부(3)의 외관을 향상시킬 수 있고, 전단강도, 박리 강도, 다공성 및 움 저항과 같은 물리적 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0167] 아래에 제공되는 예 1 및 예 2에서, 레이저(61)는 영국 사우스엠프톤 소재의 SPI Lasers UK Ltd사에 의해 제조된 나노초 이테르븀 도핑된 섬유 레이저인 모델 SPI G4 70 EP-Z이다. 레이저(61)는 도 35 및 도 36을 참조하여

설명된 마스터 발진기 출력 증폭기이다. 빔 품질(146)은 대략 1.6의  $M^2$  값을 갖는다. 스캐너(67)는 독일 뮌헨 소재의 Raylase사에 의해 제조된, 10 mm 빔 어퍼처(도시 생략)를 갖는 갈바노미터-스캐너 모델 Super Scan II이다. 스캐너는 독일 뮌헨 소재의 SCAPS GmbH사에 의해 인가된 SCAPS 스캐너 애플리케이션 소프트웨어가 사용되는 윈도우 8 운영 시스템이 탑재된 데스크탑 컴퓨터 등의 제어기(도시 생략)에 의해 제어될 수 있다. 제어기는 레이저 빔(6)을 조종하기 위한 코드를 프로그래밍, 작동, 및 저장하도록 사용될 수 있다. 렌즈(68)는 163 mm 초점 길이의 F- $\theta$  렌즈이다.

[0168] 상기 장비는 레이저 빔(62)을 형성하고 제1 재료(1)의 상부면(6) 위로 병진시키도록 구성되는데, 포커싱된 스폿은 40  $\mu\text{m}$ 의 스폿 크기(174;  $1/e^2$  직경) 및  $1.256 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ 의 면적(175)을 갖는다.

[0169] 예 1

[0170] 도 15는 100  $\mu\text{m}$ 의 두께(143)를 갖는 구리와 400  $\mu\text{m}$ 의 두께(144)를 갖는 알루미늄 사이에 형성된 용접부(310)를 통한 단면의 예술적 인상을 도시한다. 용접부(310)는 나선형 아암(9)들 사이에 50  $\mu\text{m}$ 의 제1 거리(10), 및 1 mm의 직경(4)을 갖는, 도 2를 참조하여 도시된 나선형의 형상으로 되어 있다. 홀(71)의 폭(74)은 대략 50  $\mu\text{m}$  내지 20  $\mu\text{m}$ 이다. 용접부(310)는 레이저(61)로부터의 다중 펄스(161)를 사용하여 형성되고, 상기 펄스(161)는 제1 재료(1) 상에서 영역이 약 95% 내지 98%까지 서로 중첩된다. 레이저(61)는 구리인 제1 재료(1)를 절단하고, 홀(71) 내로 제2 재료(2)(알루미늄)가 유동된다. 제1 재료(1)의 적어도 일부는 제1 재료(1)를 포함하는 구역(121)에 의해 입증된 바와 같이 제2 재료(2)로 주입된다. 구역(121)은 제2 재료(2)로 대략 300  $\mu\text{m}$  내지 400  $\mu\text{m}$ 까지 연장된다. 공동(122)이 또한 존재한다. 깊이(311)의 대략 삼각형 점선으로 도시된 열 영향부(281)가 홀(71) 아래에 존재한다. 명료성을 위해 열 영향부(281)의 하나만이 도시되어 있다. 이 열 영향부(281)는 열가소성 부품들을 함께 용접할 때에 일반적으로 나타나는 히트 스테이크와 유사하다.

[0171] 용접부(310)는 전단 시험에 의해 입증된 바와 같이 우수한 전단 내성을 갖는다. 도 32는 도 31에 도시된 유형의 3개의 용접부(310)가 전단될 때에 파괴 모드를 예시한다. 제1 재료(1)는 용접부(310)를 통하지 않고 용접부(310) 주위에서 파괴되어, 용접부(310)가 주변 재료보다 강하다는 것을 나타낸다. 이것은 예기치 않은 결과이며, 특성적으로 취성인 금속간 화합물을 형성하는 일 없이 제2 재료(2)를 홀(71) 내로 유동시킬 수 있는 것이 중요하다는 것을 보여준다.

[0172] 용접부(310)는 놀랍게도 우수한 전단 내성, 우수한 움 저항을 갖는다. 이는 도 15, 도 21 및 도 31을 참조하여 설명된 바와 같은 본 발명의 용접 프로세스가 용접부(3)로 제1 재료(1)와 제2 재료(2)의 시트들을 접합시키는 데에 적합하게 하며, 용접부(3)는 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 사이에 전기 접촉을 제공한다. 도 33의 예에서, 제1 재료(1)는 구리이고, 제2 재료(2)는 알루미늄이며, 재료들의 조합은 흔히 배터리에서 발견된다.

[0173] 도 7에 도시된 바와 같이 홀(71)의 카운터싱크를 증가시킴으로써 추가의 박리 강도가 얻어질 수 있다.

[0174] 예 2

[0175] 도 34는 제1 재료(1)인 구리와 제2 재료(2)인 황동 사이에서 용접부(340)의 단면의 예술적 인상을 나타낸다. 용접부(340)는 도 13을 참조하여 도시된 용접부(310)와 유사한 나선형으로 형성된다. 황동이 구리 재료 내로 유동되어 매우 적은 금속간 혼합으로 용접부(340)를 형성한다는 것은 놀라운 일이다. 용접부(340)는 실질적으로 비균질할 수 있다. 구리와 황동은 유동되지만, 새로운 균질한 재료상을 형성하도록 혼합되지 않는다. 구리와 황동의 재료상들은 대체로 혼합되지 않으며, 구리와 황동은 원래의 재료상으로 있다. 황동이 구리와 아연의 합금이라는 점을 감안하면 특히 놀랍다. 제2 재료(2) 내에 포함된 제1 재료(1)의 구역(121)이 존재한다. 또한 공동(122)이 존재한다. 용접부(340)에 의해 형성된 결과적인 접합부는 우수한 전단 강도를 갖는다.

[0176] 예 3 내지 예 10

[0177] 예 3 내지 예 10에 사용된 레이저(61)는 영국 사우스햄프턴 소재의 SPI Lasers UK Ltd사에 의해 제조된 나노초 이테르븀 도핑된 섬유 레이저인 모델 SPI G4 70W HS-H이다. 레이저는 예 1 및 예 2에서 사용된 레이저와 실질적으로 유사하지만, 약  $M^2 = 1.6$ 에서 약  $M^2 = 3$ 으로 증가된 더 열악한 빔 품질(146)을 갖는다. 스폿 크기(174)는 대략 80  $\mu\text{m}$ 이고, 이는 예 1 및 예 2에서 사용된 고휘도 레이저로 얻은 것보다 대략 2배 크다. 유사한 파형들이 표 1 및 도 25와 도 36을 참조하여 설명된 바와 같이 레이저에 제공된다.

[0178] 표 2는 예 3 내지 예 10에서 용접부(3)의 상세 내용을 보여준다. 각 예에서 나열된 제1 금속은 제1 재료(1)이고, 나열된 제2 금속은 제2 재료(2)이다.

- [0179] 용접 패턴(5)은 도 3의 직사각형 해칭이다. 제1 거리(10)와 제3 거리(32)는 모두 서로 동일하고, 0.2 mm와 2 mm 사이에서 변동된다. 최적값은 예 3 내지 예 10 각각에서 약 0.5 mm인 것으로 판명되었다.
- [0180] 미소 용접부(8)의 특성 피쳐 크기(7)는 미소 용접부의 폭이고, 이 폭은 사용된 재료에 따라 약 60 μm 내지 250 μm이다.
- [0181] 용접부(3)의 폭(4)은 금속 및 그 두께에 따라 1.5 mm 내지 5 mm이다. 더 두꺼운 금속에 더 큰 폭이 사용된다.
- [0182] 예 5 내지 예 10에서 아르곤이 실드 가스(155)로서 사용된다. 예 3 및 예 4에서는 실드 가스가 사용되지 않는다. 니켈 합금은 상표명 INCONEL 718로 판매되는 오스테나이트계 니켈-크롬 철 합금이다. 스테인레스강은 상표명이 SS316인 몰리브덴을 함유한 오스테나이트계 스테인레스강이다.
- [0183] 표 2에서, 제1 컬럼은 함께 용접된 재료들을 나타낸다. 각 예에서, 나열된 제1 금속은 제1 재료(1)이고, 나열된 제2 금속은 제2 재료(2)이다. 제1 재료(1) 및 제2 재료(2)의 두께(143, 144)는 mm의 크기로 도시된다.
- [0184] 각 예에서는, 도 3을 참조하여 도시된 동일한 패턴(5)에서 레이저 빔(61)의 2개의 패스가 존재한다. 제1 패스의 파라미터는 각 예의 제1 라인에 나타내고, 제2 패스의 파라미터는 각 예에서 제2 라인에 나타낸다. 파라미터는 용접부(3)의 외관 및 강도를 최적화시키도록 변동되고, 최적화된 파라미터를 표에 나타내었다.
- [0185] 제1 패스는 제2 패스의 피크 출력(162)보다 높은 피크 출력(162)을 갖는다. 제1 패스는 도 8을 참조하여 도시된 바와 같이 홀(71)을 제1 재료(1)에 생성한다. 홀(71)은 또한 제2 재료(2)로 연장될 수 있다. 제1 패스는 또한 용접부(3)를 생성할 수 있다. 그러나, 제1 패스에 의해 생성된 용접부(3)의 대부분은 쉽게 파괴될 수 있고, 일반적으로 강하지 않으며, 열악한 외관을 갖는다. 제2 패스는 제1 재료(1)와 제2 재료(2) 중 적어도 하나를 용융시킨다. 제2 재료(2)가 제1 재료(1)보다 우선적으로 용융되면, 제2 재료(2)는 도 9를 참조하여 설명된 바와 같이 홀(71) 내로 유동된다. 그러나, 제1 재료(1)가 제2 재료(2)보다 우선적으로 용융되면, 제1 재료(1)가 홀(71) 내로 유동되고, 이 홀(71)은 제2 재료(2)로 연장될 수 있다. 예 3 내지 예 10 각각의 결과는 제1 패스로 달성된 것보다 실질적으로 강한 용접부(3)이다. 그 이유는 금속간 화합물의 형성이 억제되기 때문이라고 생각된다. 게다가, 제2 패스는 표면(6)을 클리닝하여 용접부(3)에 평탄하고 깨끗한 외관을 부여한다.
- [0186] 예 9를 제외하고 각각의 예에서, 제1 패스는 266 kHz의 펄스 반복 주파수(167)에서 13 kW의 피크 출력(162)을 갖는다. 예 9의 경우, 제1 재료(1)는 구리이고, 제1 패스는 보다 느린 스캔 속도 및 25 kW의 피크 출력(162)에서 수행되었다. 제2 재료(2)가 구리인 예 4 및 예 10에서 보다 느린 스캔 속도가 또한 요구된다. 구리는 높은 반사율(145)을 갖는다. 예 7에서 스캔 속도를 감소시키는 것은 필요하지 않다. 본 발명의 범위를 제한하고자 하는 것은 아니지만, 이는 티타늄이 구리보다 높은 용융점을 갖기 때문일 수 있다고 생각된다.
- [0187] 제2 패스에서 사용된 레이저 파라미터는 용접부(3)의 강도와 외관을 최적화하기 위해 변경되었다. 놀랍게도, 각 경우에 연속파 신호를 갖는 양호한 용접부가 생성될 수 있다. 그러나, 보다 높은 주파수 파형은 예 3 내지 예 9에서 더 강한 용접부를 생성하였다. 예 4 내지 예 9에서, 펄스 반복 주파수(167)는 600 kHz 였고, 결과적으로 제1 패스에서보다 펄스 에너지(165)의 약 44%를 갖는 펄스(161)가 초래되었다. 예 3에서, 사용된 더 낮은 평균 출력의 결과로서, 제2 패스에서의 펄스 에너지(165)는 제1 패스의 펄스 에너지(165)의 32%였다. 더 낮은 펄스 에너지는 레이저 빔(62)이 제2 패스 동안 흡수되었을 때에 발생하는 증기압을 감소시키는 것으로 생각된다. 예 10에 대한 제2 패스는 50 W의 평균 출력(163)과 동일한 피크 출력(162)을 갖는 연속파 신호를 사용하여 이루어진다. 스캔 속도는 제1 패스의 스캔 속도인 30 mm/s보다 낮은 20 mm/s이었다. 예 4, 예 9 및 예 10에서 제2 패스에 대해 상대적으로 느린 스캔 속도(75 내지 80 mm/s와 비교하여 20 내지 25 mm/s)를 사용하는 것이 필요하고, 이들 모두는 구리의 용접을 수반한다. 제2 패스의 스캔 속도는 티타늄을 구리에 용접할 때에 80 mm/s이었다(예 7).
- [0188] 예 3 내지 예 10에 의해 생성된 용접부(3)는 종래 기술의 용접부와 매우 상이한 외관을 갖는다. 레이저로부터 얻을 수 있는 다양한 펄스 파형의 이점을 취함으로써, 지금까지 용접하기 어려웠던, 스테인레스강 대 알루미늄과 같은 재료로부터 강한 용접부를 얻을 수 있었다.

표 2

예	크기 (mm)	스캔 속도 (mm/s)	FWHM 펄스 폭 (ns)	10% 펄스 폭 (ns)	피크 출력 (kW)	PRF (kHz)	평균 출력 (W)
3. 알루미늄 대 황동	0.1	100	20	30	13	266	70
	0.3	80	12	10	8	600	50
4. 알루미늄 대 구리	0.1	30	20	30	13	266	70
	0.4	25	12	10	8	600	70
5. 스테인레스강 대 알루미늄	0.15	100	20	30	13	266	70
	0.5	75	12	10	8	600	70
6. 티타늄 대 알루미늄	0.12	160	20	30	13	266	70
	0.5	120	12	10	8	600	70
7. 티타늄 대 구리	0.12	160	20	30	13	266	70
	0.4	80	12	10	8	600	70
8. 알루미늄 대 니켈 합금	0.1	120	20	30	13	266	70
	0.5	40	12	10	8	600	70
9. 구리 대 니켈 합금	0.1	30	24	250	25	55	70
	0.5	20	12	10	8	600	70
10. 스테인레스강 대 구리	0.15	30	20	30	13	266	70
	0.4	20	CW	CW	50W	CW	50

[0189]

[0190]

표 2: 예 3 내지 예 10에 사용된 프로세스 파라미터.

[0191]

[0192]

예 11

[0193]

아래에 기술되는 것 이외에는, 예 1 및 예 2에서 사용된 것과 동일한 장치를 사용하여 예 11 내지 예 13에 설명된 용접이 이루어졌다. 도 15를 참조하면, 제1 재료(1)는 150 μm 두께의 구리 등급 C110이고, 제2 재료(2)는 500 μm 두께의 알루미늄 등급 5052이다. 피크 출력(162), 펄스 형상(164), 펄스 에너지(165), 펄스 폭(166), 및 펄스 플루언스(176)를 결정하기 위한 실험에 이어서, 레이저 빔(62)을 금속 표면(6) 위에서 50 m/s의 선형 속도로 그리고 0.7 μm(중심 대 중심으로 측정됨)의 연속적인 포커싱된 스폿(12) 사이의 거리(181)(도 18을 참조하여 도시됨)를 두고 스캐닝하는 것이 결정되었다. 이는 70 kHz의 펄스 반복 주파수(67)에 대응한다. 이어서, 적절한 제어 파라미터가 제어기(153) 및 이에 따라 설정되는 레이저(61)에 공급된다. 레이저 빔(62)은 70 kHz의 펄스 반복 주파수(167)에서 반복적으로 펄스화되고, 도 10을 참조하여 도시된 나선형(22)으로 금속 표면(6) 위에 스캐닝된다. 나선형(22)은 50 m/s의 선형 속도로 형성된다. 나선형(22)의 총 길이는 15.8 mm이고, 나선형의 내측(22)으로부터 외측(24)으로 형성되었다. 용접부(3)의 직경(4)은 1 mm였다. 펄스 폭(166)은 반치전폭(FWHM)에서 115 ns이었다. 펄스 폭(169)은 피크 출력(162)의 10%에서 520 ns이었다. 총 펄스 에너지(165)는 1 mJ이었고 평균 출력(163)은 70 W이었으며 피크 출력(162)은 5 kW이었다. 각각의 레이저 펄스(161)는 3.98 x 10<sup>+8</sup> W/cm<sup>2</sup>의 피크 출력 강도를 갖고 펄스 플루언스(176)는 79.6 J/cm<sup>2</sup>이었다. 50%의 아르곤과 50%의 헬륨으로 이루어진 실드 가스 혼합물(155)이 사용되었다. 가스 공급원(156)은 용접부(3) 위에 배치된 6 mm 직경의 구리 노즐이었다. 가스는 시간당 10 입방 피트로 유동 제어 조절기를 통해 공급되었다. 형성된 용접부(3)는 도 2 및 도 15에 도시된 유형이다. 히트 스테이크(17)는 나선형(22)을 따라 연속적인 선을 형성하고, 도 15에 도시

된 방향(155)에 대응하게 나선형(22)을 가로질러 반경 방향(25)으로 적어도 부분적으로 분리된다. 용접 풀(19)은 용접부(3)의 전체 표면적에 걸쳐 연속적이지만, 도 15에 도시된 바와 같이, 용접부(3)의 표면은 평탄하지 않다. 용접부(3)를 관찰하면 그 상부면(6)에 알루미늄 착색이 나타났으며, 이는 알루미늄이 용융되고 유동되었음을 나타낸다. 구리와 알루미늄은 용접부(3)에서 적어도 부분적으로 혼합되었다. 용접부(3)는 그 크기에 비해 매우 강한 것으로 관찰되었다.

[0194] 예 12

[0195] 도 5를 참조하면, 제1 재료(1)는 150  $\mu\text{m}$  두께(143)의 구리 등급 C110이고, 제2 재료(2)는 또한 500  $\mu\text{m}$  두께(144)의 구리 등급 C110이다. 실험 후에, 동일한 프로세스 파라미터가 예 11을 참조하여 설명된 바와 같이 사용될 수 있다고 결정되었다. 결과적인 용접부는 그 크기에 비해 매우 강한 것으로 관찰되었다.

[0196] 예 13

[0197] 도 15를 참조하면, 제1 재료(1)는 250  $\mu\text{m}$  두께(143)의 스테인레스강 등급 304이고, 제2 재료(2)는 250  $\mu\text{m}$  두께(144)의 스테인레스강 등급 304이다. 피크 출력(162), 펄스 형상(164), 펄스 에너지(165), 펄스 폭(166), 및 펄스 플루언스(176)를 결정하기 위한 실험에 이어서, 레이저 빔(62)을 금속 표면(6) 위에서 225 m/s의 선형 속도로 그리고 0.225  $\mu\text{m}$ (중심 대 중심으로 측정됨)의 연속적인 포커싱된 스폿(12) 사이의 거리(181)(도 18을 참조하여 도시됨)를 두고 스캐닝하는 것이 결정되었다. 이는 1 MHz의 펄스 반복 주파수(167)에 대응한다. 이어서, 적절한 제어 파라미터가 제어기(153) 및 이에 따라 설정되는 레이저(61)에 공급된다. 레이저 빔(62)은 1 MHz의 펄스 반복 주파수(167)에서 반복적으로 펄스화되고, 도 2를 참조하여 도시된 나선형(22)으로 금속 표면(6) 위에 스캐닝된다. 나선형(22)은 225 mm/s의 선형 속도로 형성된다. 나선형(22)은 내측(22)으로부터 외측(24)으로 형성되었다. 용접부(3)의 직경(4)은 1 mm였다. 펄스 폭(166)은 반치전폭(FWHM)에서 9 ns이었다. 펄스 폭(168)은 피크 출력(162)의 10%에서 9 ns이었다. 총 펄스 에너지(165)는 7  $\mu\text{J}$ 이었고 평균 출력(163)은 70 W이었으며 피크 출력(162)은 8 kW이었다. 각각의 레이저 펄스(161)는  $6.36 \times 10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>의 피크 출력 강도를 갖고 펄스 플루언스(176)는 5.6 J/cm<sup>2</sup>이었다. 실드 가스 혼합물(155)은 50%의 아르곤과 50%의 헬륨으로 이루어지고 용접부(3) 위의 6 mm 직경의 구리 노즐(107)로부터 시간당 10 입방 피트로 유동 제어 조절기를 통해 공급되었다. 형성된 용접부(3)는 도 2 및 도 15에 도시된 유형이다. 히트 스테이크(17)는 나선형(22)을 따라 연속적인 선의 형태로 용접부(3)로부터 연장되고, 도 15에 도시된 방향(155)에 대응하게 나선형(22)을 가로질러 반경 방향(25)으로 적어도 부분적으로 분리된다. 용접 풀(19)은 용접부(3)의 전체 표면적에 걸쳐 연속적이지만, 도 15에 도시된 바와 같이, 용접부(3)의 표면은 평탄하지 않다. 용접부(100)의 상부면은 금속들의 우수한 혼합과 함께 종래의 랩 용접부(lap weld)와 유사하지만, 열 영향부(272)는 거의 무시할 정도이다(도 27을 참조하여 도시됨). 그러나, 용접부(3)로부터 히트 스테이크(17)의 연장은 예 11 및 예 12의 구리 알루미늄 용접부 및 구리 구리 용접부에 대해 각각 관찰된 것보다 실질적으로 작다. 용접부(3)는 그 크기에 비해 매우 강한 것으로 관찰되었다.

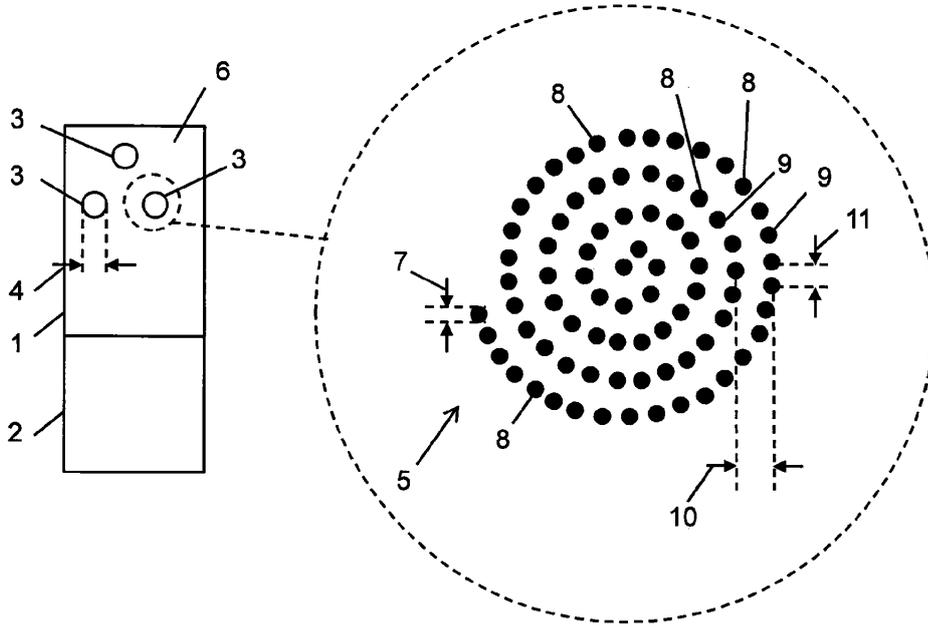
[0198] 본 발명은 또한 본 발명의 방법에 따른 용접부(3)를 제공한다.

[0199] 본 발명은 또한 본 발명의 방법에 따라 용접된 물품을 제공한다. 물품의 예로는, 스마트 폰, 모바일 폰, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 컴퓨터, 텔레비전, 소비자 전자 장치; 배터리; 태양 전지; 집적 전자 회로 구성요소; 인쇄 회로 기판; 전기 연결부; 가요성 회로 요소와 얇은 섹션 버스바 사이의 낮은 프로파일의 전기 연결부; 의료 전자 장치용 금속 엔클로저; 및 소비자 전자 장치의 전기 연결부; 금속 라벨 및 태그; 보석류에서의 은, 백금, 및 금 부품이 있다.

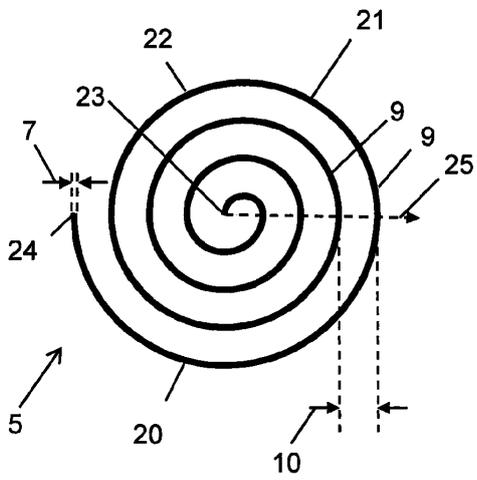
[0200] 도면 및 예를 참조하여 전술한 본 발명의 실시예는 단지 일례로서 제공되었으며, 변형이 실시될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 도면에 도시된 개별적인 구성요소 및 예에 도시된 개별적인 값은 다른 도면 및 다른 예에 그리고 본 발명의 모든 양태에 사용될 수 있다.

도면

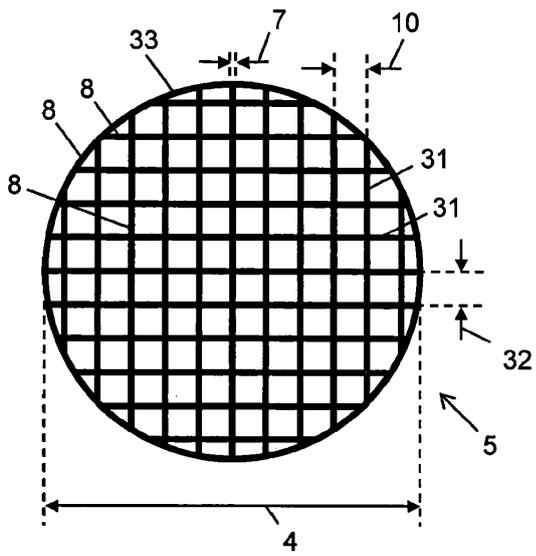
도면1



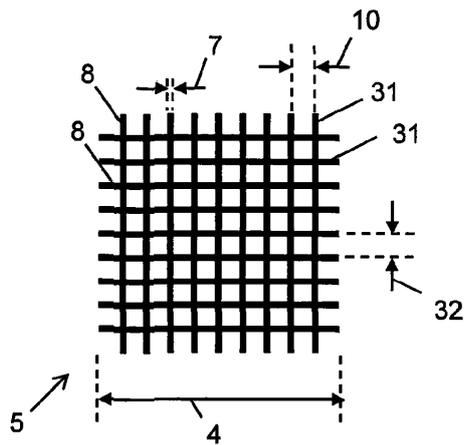
도면2



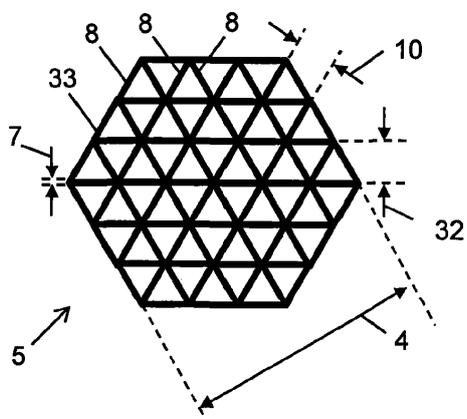
도면3



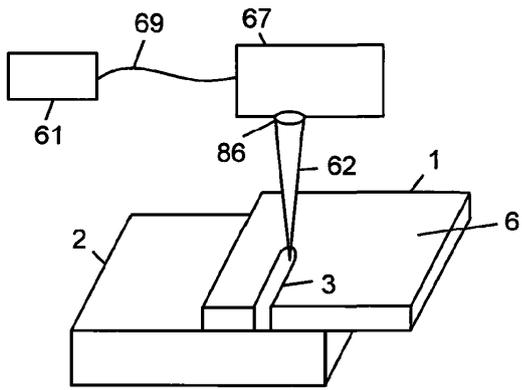
도면4



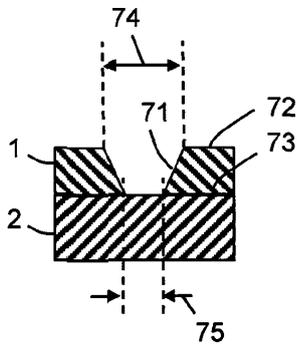
도면5



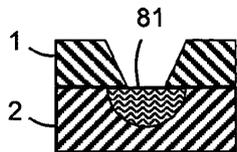
도면6



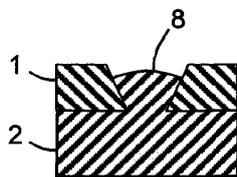
도면7



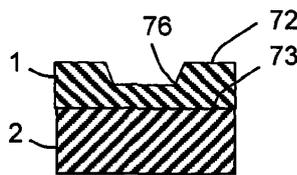
도면8



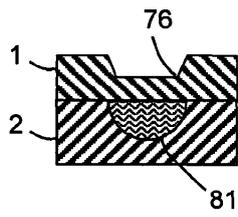
도면9



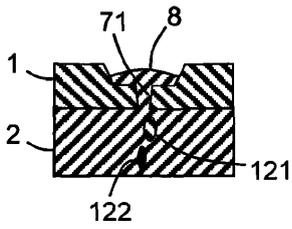
도면10



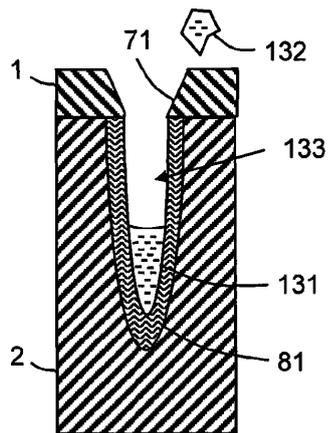
도면11



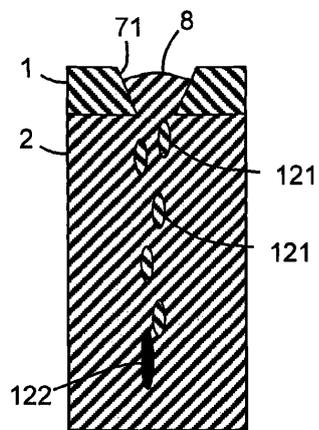
도면12



도면13

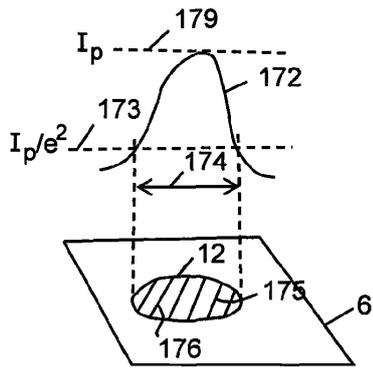


도면14

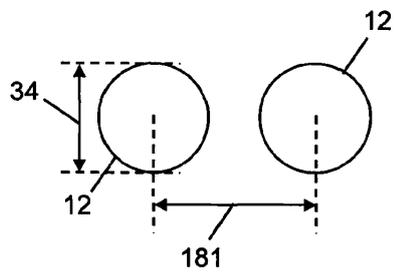




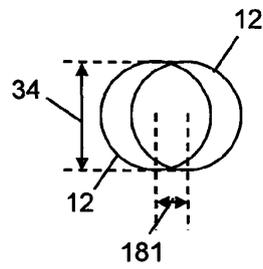
도면17



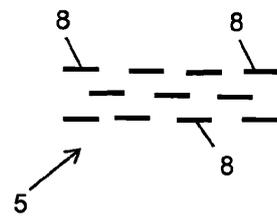
도면18



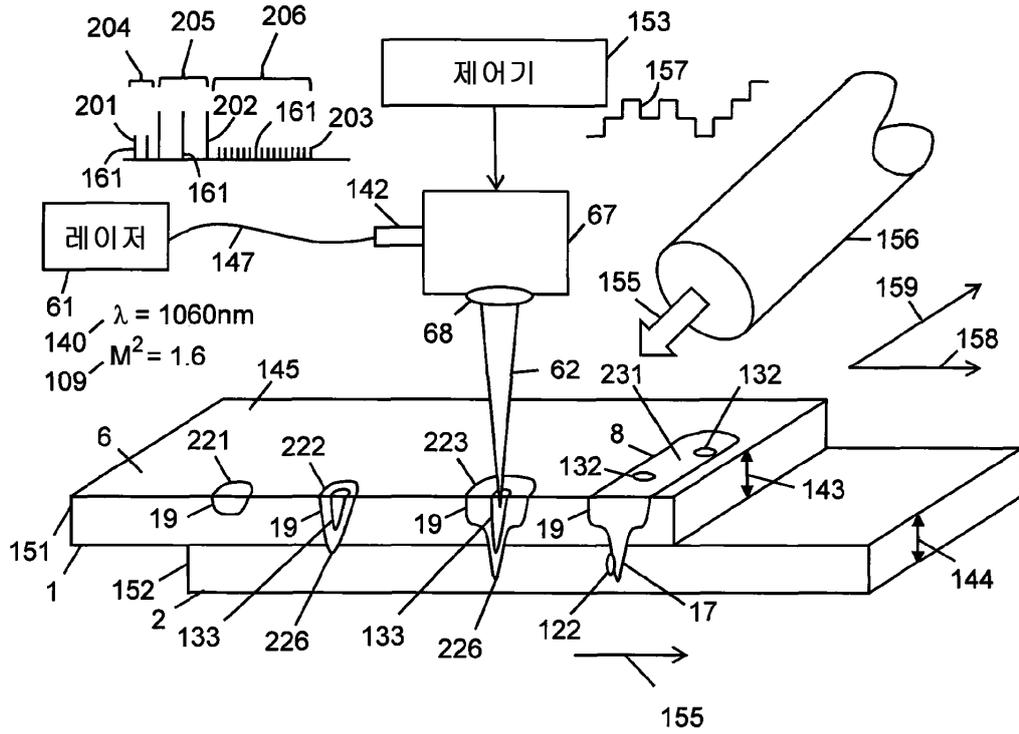
도면19



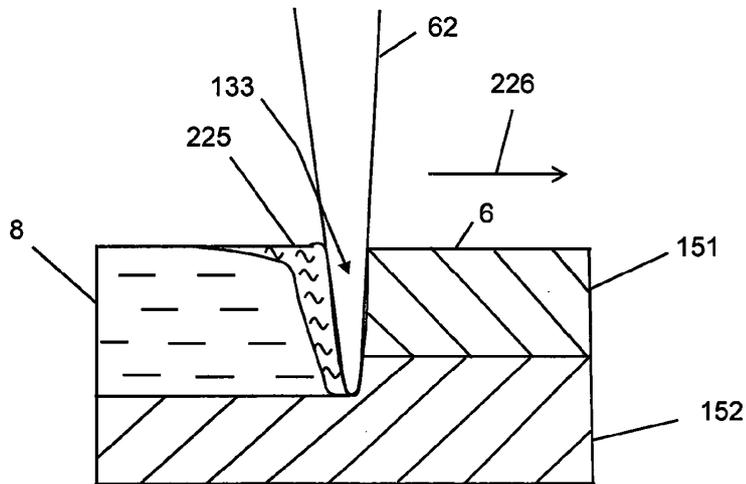
도면20



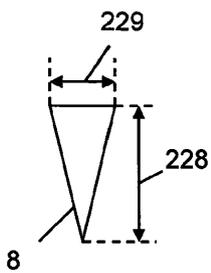
도면21



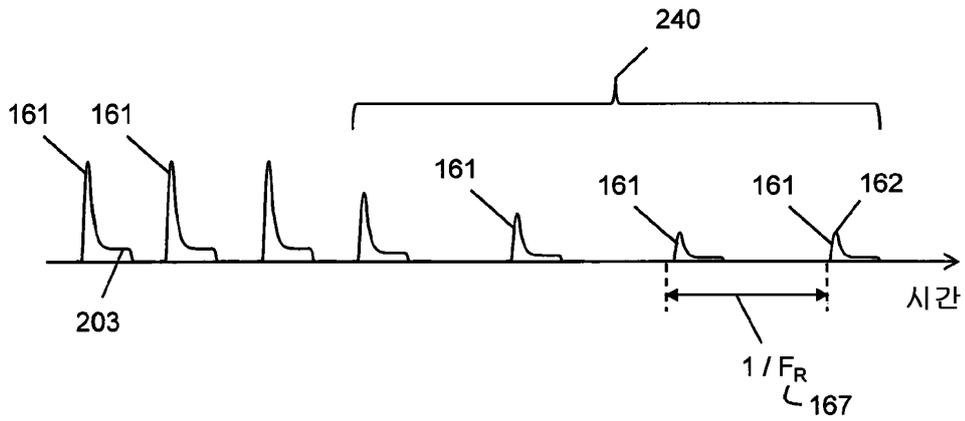
도면22



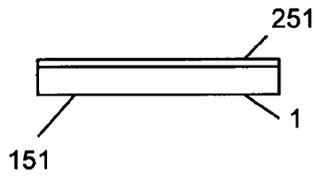
도면23



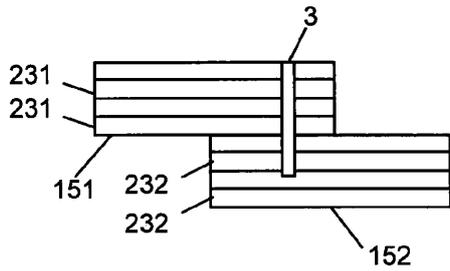
도면24



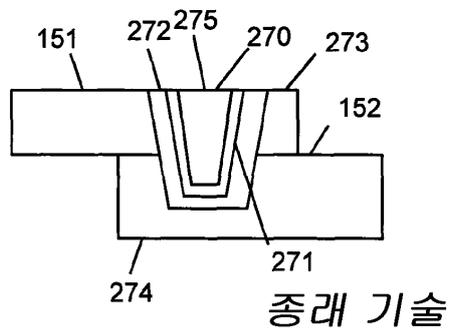
도면25



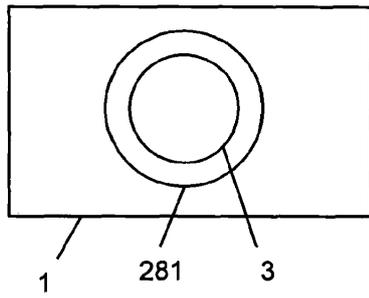
도면26



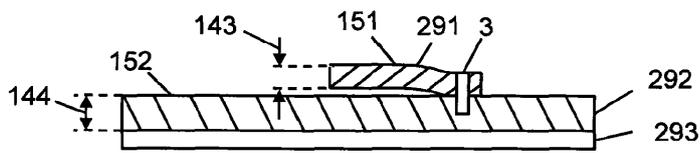
도면27



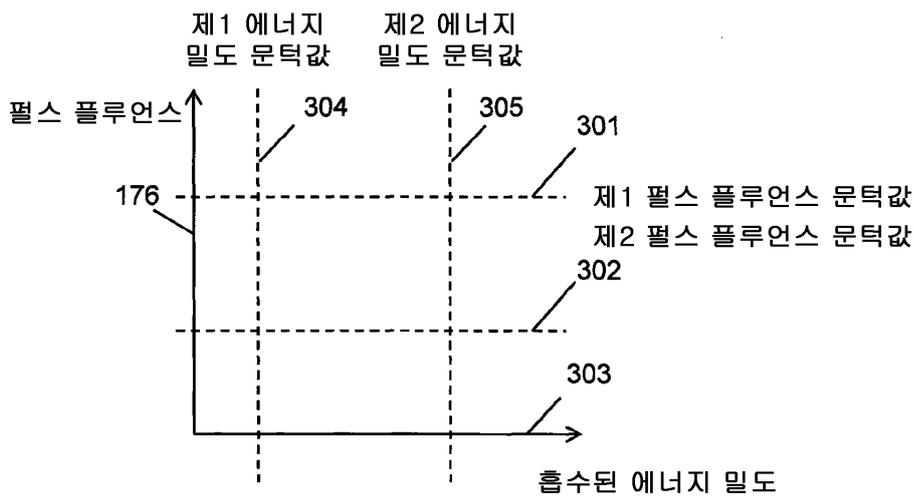
도면28



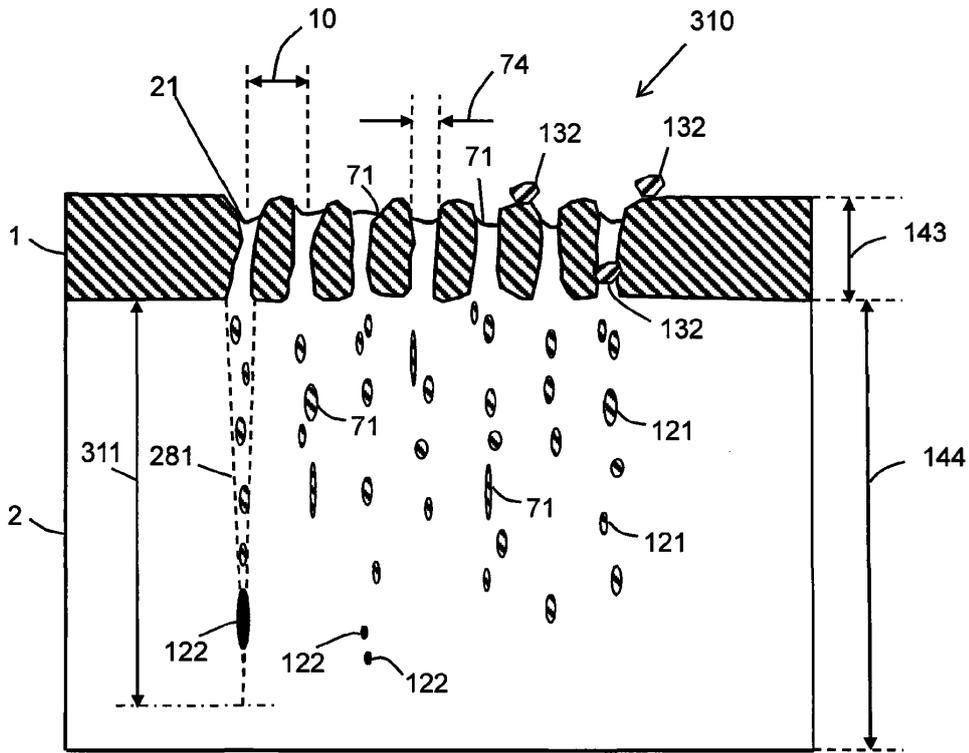
도면29



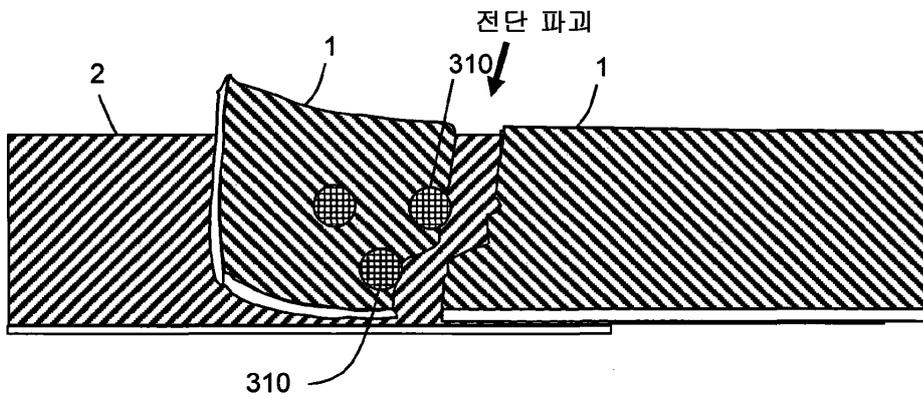
도면30



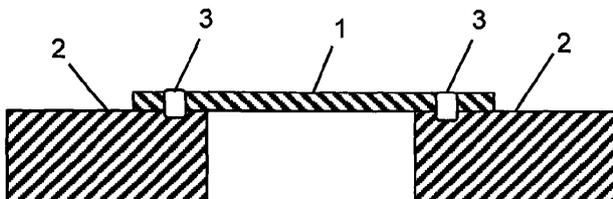
도면31



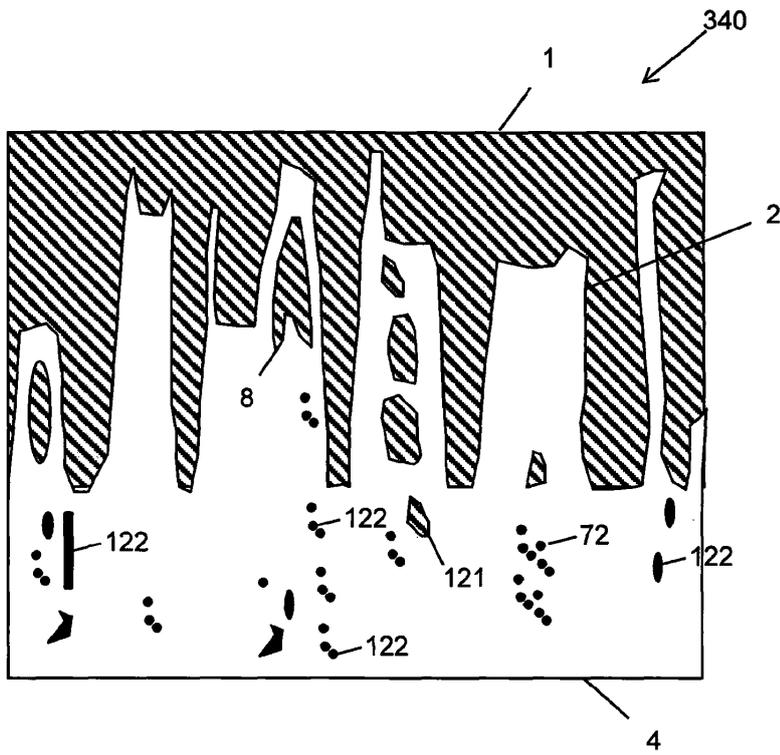
도면32



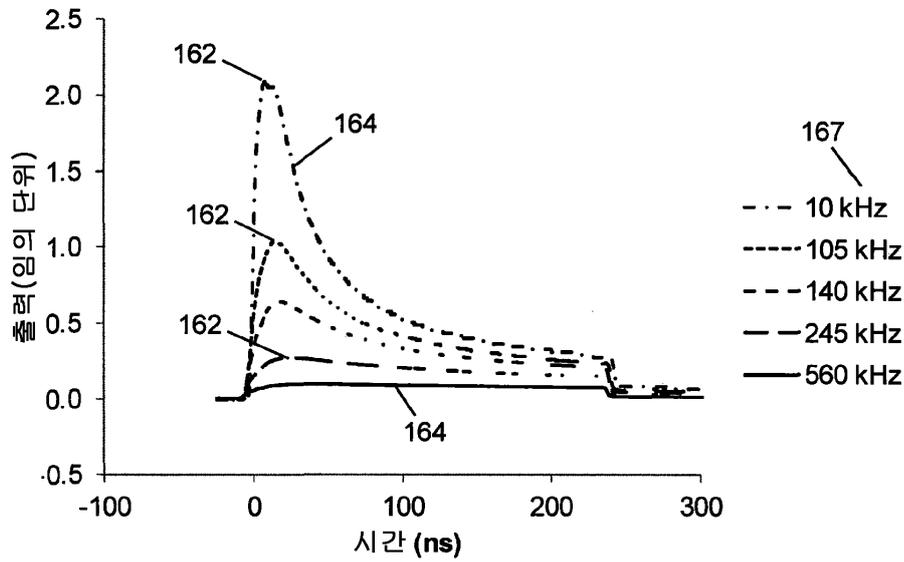
도면33



도면34



도면35



도면36

