



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. B23K 15/00 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년06월18일 10-0729893 2007년06월12일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2002-0076965	(65) 공개번호	10-2003-0047767
(22) 출원일자	2002년12월05일	(43) 공개일자	2003년06월18일
심사청구일자	2005년12월05일		

(30) 우선권주장 10/010,130 2001년12월06일 미국(US)

(73) 특허권자 제너럴 일렉트릭 캄파니
미합중국 뉴욕, 셰넥테디, 윈 리버 로우드

(72) 발명자 펡간지앙
미국뉴욕주12065클리프톤파크그린스보로블러바드12

노왁다니엘앤소니
미국뉴욕주12008알프러스퍼스트스트리트11

(74) 대리인 김창세
장성구

(56) 선행기술조사문헌
유럽특허명세서 1,179,383(2002. 2.13) 유럽특허명세서 1,116,545(2001. 7.18.)
미국특허명세서 3,617,685(1971.11. 2.)

심사관 : 강구환

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 고 에너지 빔 용접 방법

(57) 요약

본 발명은 단결정 초합금, 특히 10중량% 또는 그 이상의 내화 금속(refractory metal)을 함유하는 단결정 니켈계 초합금으로 형성된 부재(12, 14)의 용접 방법에 관한 것이다. shim(24)은 부재(12, 14) 사이에 위치되고, 지지 스트립(backing strip)(16)은 부재(12, 14) 양자에 접촉하고, 부재(12, 14) 사이의 갭을 가교(bridging)하도록 바람직하게 위치된다. 그 후, 부재(12, 14)는 낮은 전류 펄스 주파수 및 낮은 이동 속도를 갖는 고 에너지 빔(38)을 사용해 서로 용접된다.

대표도

도 2

특허청구의 범위

청구항 1.

2개 이상의 단결정 초합금 부재(12, 14)의 고 에너지 빔 용접 방법에 있어서,

상기 부재(12, 14)의 초합금보다 연성이 높은 초합금으로 형성된 shim(24)이 상기 부재(12, 14)의 접합 표면(26, 28)에 접촉하도록 상기 부재(12, 14) 사이의 갭에 상기 shim(24)을 위치시키는 단계와,

10Hz 내지 50Hz의 펄스 전류 주파수, 0.85cm/s 내지 1.5cm/s의 이동 속도, 100kV 내지 150kV의 전압 레벨 및 10mA 내지 40mA의 전류 레벨에서 작동되는 고 에너지 빔(38)에 의해 상기 부재(12, 14)를 서로 용접시키는 단계로서, 상기 고 에너지 빔(38)은 상기 shim(24) 및 상기 shim(24)과 접촉하는 상기 부재(12, 14)의 부분을 용융시켜 상기 shim(24) 및 부재(12, 14)의 초합금을 혼합시키는, 상기 용접 단계와,

W자형 이음부 루트부(42)를 갖는 용접 이음부(40)를 형성하도록 상기 부재(12, 14)를 냉각시키는 단계를 포함하는 고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 부재(12, 14)의 초합금은 10중량% 이상의 하나 또는 그 이상의 내화 금속을 함유하는 니켈계 초합금인

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 부재(12, 14)의 초합금은 감마 프라임 석출물에 의해 강화되는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 shim(24)의 초합금은 상기 감마 프라임 석출물을 함유하지 않으며, 상기 용접 이음부(40)는 상기 감마 프라임 석출물을 함유하는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 shim(24)은 상기 부재(12, 14)의 인접 표면(30, 32)을 지나 돌출하는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 부재(12, 14)와 접촉하고 상기 부재(12, 14) 사이의 갭을 메우는 지지 스트립(16)을 제공하는 단계를 더 포함하며, 상기 W자형 이음부 루트부(42)는 상기 지지 스트립(16)내에 형성되는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 지지 스트립(16)은 단결정 미세 구조를 갖는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 부재(12, 14)의 초합금은 7.5중량%의 Co, 7.0중량%의 Cr, 6.5중량%의 Ta, 6.2중량%의 Al, 5.0중량%의 W, 3.0중량%의 Re, 1.5중량%의 Mo, 0.15중량%의 Hf, 0.05중량%의 C, 0.004중량%의 B, 0.01중량%의 Y, 나머지 니켈 및 부수적인 불순물의 공칭 조성을 갖는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 9.

제 1 항에 있어서,

상기 심(24)의 초합금은 22중량%의 Cr, 12.5중량%의 Co, 9.0중량%의 Mo, 1.0중량%의 Al, 0.3중량%의 Ti, 0.07중량%의 C, 나머지 니켈 및 부수적인 불순물의 공칭 조성을 갖는

고 에너지 빔 용접 방법.

청구항 10.

제 1 항에 있어서,

상기 용접 이음부(40)는 맞대기 용접부인

고 에너지 빔 용접 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 일반적으로 초합금의 용접 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 상당량의 내화 성분을 함유하는 단결정 니켈계 초합금의 전자빔 용접 방법에 관한 것으로서, 이 방법에 의해 결과적인 용접 조립체에서 크랙의 발생이 줄어든다.

니켈계 초합금은 연소기, 터빈 베인 및 블레이드를 포함하는 가스 터빈 엔진의 구성요소를 구성하기 위해 폭넓게 사용된다. 초합금 구성요소는 종종 구조에 의해 성형되고, 몇몇 적용에 대해서는 그 복잡성으로 인해 용접에 의해 바람직하게 또는 필연적으로 조립된다. 또한 용접은 블레이드 팁을 복구하기 위하여 그리고 열 사이클링 또는 이물질의 충돌에 의해 야기되는 초합금 구성요소에서의 크랙 및 다른 표면 균열을 수리하기 위한 방법으로서 폭넓게 사용된다.

감마 프라임(γ') 석출물을 함유하는, 및 특히 탄탈륨, 알루미늄, 몰리브덴, 텅스텐, 레늄 및 니오븀(콜럼븀)과 같은 내화 성분을 상당량 함유하는 니켈계 초합금 주물의 구조적 용접은 용체화 열처리(solution heat treatment) 후에 감마 프라임 상(phase)이 재침전되는 시효(aging) 동안에서와 같이, 용접후 냉각 또는 연이은 재가열시에 변형 시효 크랙을 형성한다는 것이 공지되어 있다. 예를 들면, 10중량% 보다 훨씬 많은 내화 성분을 함유하는 Rene N5로 공지된 단결정 니켈계 초합금은 일반적으로 용접이 불가능한 것으로 여겨졌다. Rene N5와 같은 초합금에서의 크랙의 원인은 용접 또는 시효 사이클 동안에 발생된 잔류 응력에 적어도 부분적으로 기인한다.

레이저 빔 또는 전자빔(EB) 용접(정확하게 본원에서 고 에너지 빔 용접으로 간주됨)과 같은 저열 입력 용접 공정(low heat input welding process)은 좁은 범위의 용접 조건에 걸쳐 단결정 초합금에서 크랙이 없는 용접 이음부를 형성하기 위해 사용되었다. EB 용접 공정의 장점은 초점이 맞춰진 전자빔의 높은 에너지 밀도가 고속으로 깊고 좁은 용접부를 형성할 수 있어, 최소의 부가적인 중량을 부가하는 구조적 맞대기 용접부의 형성을 가능하게 한다는 것이다. 그러나, 레이저 빔 및 EB 용접 공정에서 관찰된 결점은 용융 영역에서의 방향성 입자 성장(directional grain growth)이며, 이는 용접 영역의 중앙에 상이한 수지상 경계(dendritic boundary)를 형성한다. 이러한 형태의 입자 구조는 이음부에 중심선 크랙이 발생하기 쉽게 하며, 이는 용접 구성요소의 피로 강도를 감소시킨다. 단결정 초합금의 고 에너지 빔 용접시에 마주치는 다른 문제는 맞대기 용접의 맞닿은 단부 아래의 단결정 지지 스트립(single-crystal backing strip)의 사용과 관련된다. 이러한 결함 양자는 한 쌍의 초합금 구성요소(12, 14) 및 지지 스트립(16)을 포함하는 용접 조립체(10)를 도시하는 도 1에 도시되어 있으며, 도 1에서 구성요소(12, 14)는 맞대기 용접 이음부(18)에 의해 접합된다. 중심선 크랙(20)은 이음부(18)에서 표시된 바와 같이 나타나며, 한편 루트부 크랙(22)은 지지 스트립(16)에 나타난다.

고온 텅스텐 비활성 가스(TIG; tungsten inert gas) 용접 공정은 고 에너지 빔 용접에 의해 형성된 단결정 초합금 이음부와 관련된 중심선 크랙 문제를 극복하도록 개발되어 왔다. 그러나, 이음부 두께 및 직경은 텅스텐 비활성 가스 공정에 의해 제한되고, 그 사용은 허용 가능한 피로 특성의 균일 결정 구조를 형성하기 위한 온도, 대기 및 공정 파라미터의 제한적인 제어를 위한 요구에 의해 한정된다. 그 밖에도, 과도한 비틀림 및 열 작용 구역(HAZ; heat-affected zone) 크랙의 위험이 존재한다.

팽 등의 미국 특허 출원 제 09/638,072 호에서, EB 용접은 초합금 shim과 조합하여 사용되어 단결정 초합금에서의 용접 이음부를 형성한다. 좁은 범위의 용접 조건을 사용함으로써, 팽 등에 의해 개시된 용접 공정은 이전의 고 에너지 빔 용접 공정에 의해 마주치는 중심선 크랙의 형성을 회피할 수 있다. 그러나, 팽 등에 의해 개시된 고 에너지 빔 용접 공정은, 용접되는 양자의 구성요소가 단결정 초합금인 경우, 특히 이 초합금이 Rene N5의 경우에서와 같이 비교적 높은 레벨의 내화 성분을 함유하는 경우 루트부 크랙의 발달이 제거되지 않았다.

상술한 난점에 비추어, 단결정 초합금 조립체는 크랙 발생 경향이 적은 초합금으로 종종 형성되거나 또는 패스너로 또는 납땜에 의해 조립된다. 그러나, 패스너의 사용은 플랜지를 필요로 하고, 납땜은 큰 접촉부(접합 표면)를 일반적으로 필요로 하며, 이들 양자는 중량 증가를 초래한다. 따라서, 특히 10중량% 또는 그 이상의 내화 금속(refractory metal)을 함유하는 단결정 니켈계 초합금을 접합시키기 위한 용접 공정이 존재한다면 바람직하고, 이 용접 공정은 고온 및 고변형에서 향상된 피로 수명을 나타내는 크랙이 없는 이음부를 형성할 수 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 일반적으로 니켈계 초합금, 특히 10중량% 또는 그 이상의 내화 금속을 함유하는 결정 초합금으로 형성되는 구성요소의 용접 방법 및 결과적인 용접 조립체를 제공한다. 본 발명의 방법은 고온 및 고변형 범위에서 향상된 피로 수명을 나타내는 결함이 없는 이음부를 형성하기 위해서 심 및 특정 용접 파라미터를 사용하는 고 에너지 빔 용접의 사용을 통해 크랙의 발생을 감소시킨다.

본 발명의 방법은 전술된 심을 부재 사이의 갭에 위치시켜 부재의 접합 표면에 접촉시킴으로써 단결정 니켈계 초합금 부재를 용접하는 고 에너지 빔을 포함한다. 지지 스트립은 양자의 부재에 접촉하고 부재 사이의 갭을 가교하는 것으로 나타낼 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 심은 부재의 니켈계 초합금보다 연성이 큰 니켈계 초합금으로 형성될 수 있다. 부재는 약 10Hz 내지 50Hz의 전류 펄스 주파수와 약 0.85cm/s 내지 1.5cm/s의 이동 속도를 갖는 고 에너지 빔을 사용하여 서로 용접된다. 고 에너지 빔은 심 및 이 심과 접촉하는 부재의 부분을 용융시켜, 심 및 부재의 초합금을 혼합시킨다. 본 발명에 따르면, 용접 공정의 주파수 및 속도 파라미터는 결과적인 용접 이음부가 지지 스트립(존재한다면)내로 연장되는 다중 루트부를 형성하도록 한다.

본 발명의 바람직한 실시예는 용접 이음부의 중심선 크랙 및 루트부 크랙 양자를 제거하며, 그리고 맞대기 용접의 경우 용접 이음부를 완전히 관통한다. 본 발명의 다른 장점은 부분 뒤틀림의 감소와, 가스 터빈 엔진 적용을 위한 에어포일을 포함하는 복잡한 구조에 대한 초합금 이음부의 형성에서 공정을 단순화하는 것이다.

본 발명의 다른 목적 및 장점은 다음의 상세한 설명으로부터 보다 잘 이해될 것이다.

발명의 구성

본 발명은 결과적인 용접 이음부에서 크랙의 발생 없이 니켈계 초합금 부재, 특히 단결정 감마 프라임 강화 니켈계 초합금 주물의 고 에너지 빔 용접의 공정이다. 본 발명의 장점은 대체로 가스 터빈 엔진의 초합금 구성요소의 EB 용접 및 조립을 특히 참조하여 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 또한 니켈계 초합금 주물에 의해 형성된 다양한 용접 조립체에 적용될 수 있다.

과거에는, 가스 터빈 적용을 위한 몇몇 초합금 구성요소는 감마 프라임 강화 니켈계 초합금이 아닌 고온 재료의 주물을 서로 용접하여 조립되거나, 또는 원하지 않는 부가적인 중량을 초래하는 패스너 또는 남뎀에 의해 조립되는 것에 한정되었다. 본 발명에 따르면, 감마 프라임 강화 니켈계 초합금 주물은 냉각 동안에 크랙의 발생 없이 성공적으로 EB 용접될 수 있다. 본 발명의 장점은 특히 중심선 크랙 및 루트부 크랙을 야기시키는 초합금과 같은 약 10중량% 또는 그보다 큰 레벨의 조함인 하나 또는 그 이상의 내화 금속을 함유하는 감마 프라임 강화 니켈계 초합금에 대해 특히 주목할 만하다. 그와 같은 초합금의 주목할 만한 예는 약 7.5중량%의 Co, 약 7.0중량% Cr, 약 6.5중량%의 Ta, 약 6.2중량%의 Al, 약 5.0중량%의 W, 약 3.0중량%의 Re, 약 1.5중량%의 Mo, 약 0.15중량%의 Hf, 약 0.05중량%의 C, 약 0.004중량%의 B, 약 0.01중량%의 Y, 나머지 니켈 및 부수적인 불순물의 공칭 조성을 갖는 Rene N5이다.

도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명은 용접될 2개의 구성요소(12, 14) 사이에 위치한 심(24)을 사용하며, 이 심(24)은 구성요소(12, 14)의 접합 표면(26, 28)과 접촉한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 심(24)은 구성요소(12, 14)의 인접 표면(30, 32)을 넘어 돌출한다. 특정 조립체에 대해 요구될 수 있는 바와 같이, 지지 스트립(16)은 구성요소(12, 14)의 하부 표면(34, 36)에 접촉하고, 심(24)에 의해 채워진 갭을 가교하는 것으로서 나타낸다. 심(24)은 구성요소(12, 14)의 니켈계 초합금보다 큰 연성의 니켈계 초합금으로 바람직하게 형성된다. 예를 들면, 구성요소(12, 14)가 감마 프라임 강화 니켈계 초합금으로 형성되는 경우, 심(24)은 예를 들어 약 22중량% Cr, 약 12.5중량%의 Co, 약 9.0중량%의 Mo, 약 1.0중량%의 Al, 약 0.3 중량%의 Ti, 약 0.07중량%의 C, 나머지 니켈 및 부수적인 불순물의 공칭 조성을 갖는 인코넬 617(Inconel 617)인 감마 프라임 석출물을 함유하지 않는 니켈계 초합금으로 형성될 수 있다.

도 3은 전자빔(38)(도 2)을 사용하여 서로 용접된 구성요소(12, 14)의 결과를 나타낸다. 용접 공정을 위해 요구되는 파라미터는 저주파 전류 펄스 및 낮은 이동 속도에서의 전자빔(38)의 작동을 포함한다. 특히, 펄스식 전류 주파수는 약 10Hz 내지 50Hz이고, 바람직하게는 약 10Hz 내지 20Hz이며, 이동 속도는 약 20인치/분 내지 약 35인치/분(약 0.85cm/s 내지 약 1.5cm/s)이고, 바람직하게는 약 20인치/분 내지 약 25인치/분(약 0.85cm/s 내지 약 1.1cm/s)이다. 다른 중요 공정 파라미터는 약 100kV 내지 약 150kV, 바람직하게는 약 100kV 내지 120kV의 전압 레벨과, 약 10mA 내지 약 40mA, 바람직하게는 20mA 내지 약 25mA의 전류 레벨을 포함한다. 빔(38)은 샤프(sharp)한 초점을 넘어(즉, 초점을 벗어남) 약 0.006인치(약 150 μm)로 샤프하게 초점이 맞춰질 수 있고, 약 0.03인치 내지 약 0.15인치(약 0.76mm 내지 약 3.8mm), 바람직하게는 약 0.070인치(약 1.8mm)의 직경을 갖는 원형 형태로 진동될 수 있으며, 용접 영역을 가로질러 빔 에너지를 균일하게 분포시키도록 함께 기능한다.

상술한 공정 조건하에서, 전자빔(38)은 심(24) 및 이 심(24)과 접촉하는 부재(구성요소)(12, 14)의 부분을 용융시켜, 심(24) 및 부재(12, 14)의 초합금 조성물이 결과적인 단결정 맞대기 용접 이음부(40) 내에서 혼합된다(도 3). 심(24)이 구성요소(12, 14)의 인접 표면보다 돌출한 결과로써(도 2), 용접 금속의 양의 크라운(crown)이 표면 결함을 제거하는 용접 표면에 존재한다. 본 발명의 용접 공정의 특유한 특성은 냉각중인 용접 이음부(40)가 지지 스트립(16)내로 연장하는 다중 루트부(44)를 갖는 이음부 루트부(42)를 구비하는 것이다. 특히, 루트부(42)는 심(24)과 접합 표면(26, 28) 사이의 원래 계면 아래의 지지 스트립(16)내로 연장한다. 도 3에서, 이음부 루트부(42)는 일반적으로 W자형을 갖는 것으로 도시된다. 본 발명에 따라 형성된 용접 이음부의 현미경 사진인 도 4에서, 이음부 루트부는 지지 스트립내로 연장하는 3개의 루트부의 결과로서 변환된 W자형을 갖는 것으로 도시된다. 외측 루트부는 (용접 이음부와 용접된 몸체 사이에 존재하는 계면의 근방으로부터) 접합된 몸체의 접합 표면과 심 사이의 원래 계면 아래의 지지 스트립내로 연장하는 동시에, 제 3 루트부는 지지 스트립내로 중심방향으로 연장한다.

본 발명은 고온 및 고변형에서의 향상된 피로 수명에 따른 루트부 크랙[예를 들면, 도 1의 참조부호(22)]을 제거하면서 도 3 및 도 4에 도시된 형태의 관련된 W자형 루트부 이음부를 갖는다. 전압 레벨, 전류 레벨, 빔 초점 및 빔 진동이 모두 용접 공정의 중요한 파라미터이지만, 빔의 저속 이동 및 특히 저 주파수 전류 펄스는 이러한 발명에 의해 요구되는 W자형 이음부 루트부를 형성하기 위한 능력에 직접 연관된다. 본 발명의 전압, 전류 및 이동 속도는 예를 들면, 팽 등의 미국 특허 출원 제 09/638,072 호와 중복되지만, 미국 특허 출원 제 09/638,072 호는 본 발명의 W자형 이음부 루트부를 형성하지 않으며, 따라서 도 1에 도시된 바와 같은 형태의 루트부 크랙을 제거하지 않는다. 또한, 팽 등의 용접 공정은 전류 펄스 주파수를 결과물에 효과적인 가변성으로서, 즉 이음부 크랙을 제거하는 것에 관련된 인식된 결과를 달성하는 가변성으로서 인식하지 않는다.

본 발명의 EB 용접 공정은 종래 EB 용접 공정에 적합한 분위기에서 수행된다. 종래 기술에서 공지된 바와 같이, EB 용접 필라멘트의 전자 산란 및 급속한 산화를 방지하기 위해 적절한 진공 레벨이 필요하다. 약 10^{-3} Torr(약 0.13Pa) 만큼 높은 압력이 사용되어 허용 가능한 결과를 얻을 수 있지만, 적절한 진공 레벨은 약 10^{-4} Torr(약 0.013Pa)이다. 용접전에, 구성요소(12, 14)는 일반적으로 특정 초합금에 대한 약 200°C 내의 용체화 온도(solution temperature)와 같은 용체화 열처리 온도(solution heat treatment temperature)까지 사전 가열되는 것이 바람직하다. 감마 프라임 강화 초합금에 대해서는, 크립(creep)을 회피하면서 냉각전 응력 완화를 제공하도록 예열 온도가 감마 프라임 석출[솔버스(solvus)] 온도 또는 그 근방의 온도로 된다. 종래 기술에 공지된 바와 같이, 감마 프라임 경화 니켈계 초합금에 대한 용체화 열처리(solution heat treatment)는 초합금 솔버스 온도보다 높은 온도에서 실시되며, 그 온도에서 감마 프라임 석출물은 고용체(solid solution)로 된다. 니켈계 초합금용 감마 프라임 솔버스 온도는 일반적으로 약 1150°C 내지 약 1300°C(약 2100°F 내지 2370°F) 범위이다. 용체화[슈퍼솔버스(supersolvus)] 온도에서의 신속한 담금질은 과포화 용액을 형성하며, 그 후에 시효가 수행되어 제어된 방식으로 경화 감마 프라임 상을 재석출시킬 수 있다.

상기 진공 및 온도 조건을 유지하면서, 구성요소(12, 14)는 EB 용접되어 용접 이음부(40)를 형성한다. 특히, 상기 언급된 범위내의 적절한 용접 파라미터는 다른 것들 중에서 이들이 이어지는 지점에서의 구성요소(12, 14)의 두께에 의해 좌우된다.

본 발명을 도출하는 연구에 있어서, Rene N5 초합금에 의해 형성된 2개의 단결정 주물과 IN617에 의해 형성된 심은 도 2에 도시된 방법으로 조립된다. 소망하는 용접 이음부에서의 주물의 두께는 약 0.3인치(약 0.76cm)이다. 심은 약 0.04인치(약 0.10cm) 두께와, 약 0.32인치(약 0.81cm)의 폭을 가지므로, 이 심은 주물의 표면 위로 약 0.02인치(약 0.05cm) 돌출된다. 단결정 Rene N5로 형성된 지지 스트립은 심 및 주물 아래에 위치되고, 심에 의해 채워진 주물 사이의 갭이 가교된다. 지지 스트립의 두께는 약 0.15인치(약 0.38cm)이다. 약 10^3 Torr(약 7.5×10^6 Pa)의 진공 및 약 25°C의 온도로 유지되는 상업적으로 입수 가능한 EB 용접 기계를 사용함으로써, 초점에서 벗어난 전자빔이 심 위로 방출되고 주물의 영역을 즉시 둘러싼다. 용접 파라미터는 약 120kV의 전압 레벨, 약 24mA의 전류 레벨, 약 10Hz의 펄스식 전류 주파수 및 약 20인치/분(약 0.85cm/s)의 이동 속도를 포함한다. 용접 동안에, 주물과 심 재료 사이의 강력한 혼합 및 교반이 발생된다. 그 후 용접 조립체는 실온으로 냉각되고 Rene N5에 적합한 조건하에 열처리된다. 결과적인 용접 금속 조성은 하기의 표 1에 요약되어 있다.

[표 1]

요소	용접 중앙부	IN617 [심(shim)]	Rene N5 (주물)
----	--------	--------------------	-----------------

Al	4.05	1	6.2
Mo	2.76	9	1.5
Cr	14.02	22	7
Co	9.33	12	7.5
Ti	0.01	0.3	-
Ta	4.46	-	6.5
S	0.00	-	-
Fe	0.05	-	-
W	3.39	-	5
Re	2.18	-	3
Hf	-	-	0.15
C	-	0.07	0.05
B	-	-	0.004
Y	-	-	0.01
Ni	나머지	나머지	나머지

본 발명의 EB 용접 기술의 결과로서, 용접된 주물 및 용접부는 냉각 이후에 열적 유도 크랙이 실질적으로 없으며, 열처리 이후에 크랙이 없이 유지된다. 특히, 용접부에서의 중심선 크랙과 지지 스트립에서의 루트부 크랙이 현저하게 없어졌다. 특정 이론에 얽매는 것을 바라지는 않지만, 이러한 조사 결과로부터 루트부 크랙은 지지 스트립을 타격하는 전자빔의 결과로 단결정 초합금으로 형성된 지지 스트립에 형성된다는 것과, 낮은 전류 펄스 주파수와 낮은 이동 속도의 조합은 W자형 이음부 루트부(도 3 및 도 4)를 형성하며, 이 W자형 이음부 루트부는 조사를 통해 감소된 루트부 크랙의 위험성과 연관된 것으로, 가능하게는 지지 스트립에서의 보다 나은 분산 응력이 되는 것으로 결론지어진다. 용접 동안에 주물과 심 재료 사이에서 발생된 강력한 혼합 및 교반 용접 이음부내의 중심선 크랙 발생을 억제시키는 것으로 생각된다.

표 1에서, 용접 금속은 인코넬 738과 유사한 조성(16중량%의 크롬, 8.5중량%의 코발트, 1.75중량%의 몰리브덴, 2.6중량%의 텅스텐, 1.75중량%의 탄탈륨, 0.9중량%의 니오븀, 3.4중량%의 알루미늄, 3.4중량%의 티타늄, 0.10중량%의 지르코늄, 0.01중량%의 붕소, 0.17중량%의 탄소, 나머지 니켈 및 불순물의 공칭 조성)을 갖는 감마 프라임 석출 강화 합금이 되는 것을 확인할 수 있다. 감마 프라임 석출물[주로 $Ni_3(Al, Ta)$]의 존재는 고온에서의 이음부에 대한 적절한 크랙 강도 및 저 사이클 피로(LCF; low cycles fatigue) 수명을 보장한다. 약 0.7%의 변형 레벨에서 실시된 연속적인 LCF 시험은, 본 발명에 따라 용접된 이음부의 LCF 수명이 텅스텐 비활성 가스 용접 공정에 의해 동일 하드웨어상에 형성된 용접 이음부의 수명의 약 4배임을 보여준다.

상술한 관점에서, 본 발명은 냉각 중에 응력에 의해 야기되는 크랙의 발생 없이 감마 프라임 강화 단결정 니켈계 초합금 부재의 EB 용접을 가능하게 한다. 특히, EB 용접에 관한 것이지만, 본 발명의 장점은 레이저 용접 기술에 의해서도 실현될 수 있다는 것으로 생각된다. 레이저 용접의 주목할 만한 한계는 레이저 용접 조립체에 대해 구조적 적용을 제한하는 한정된 용접 관통 깊이이다.

본 발명은 바람직한 실시예의 관점에서 설명되었지만, 당업자들에 의해 다른 형태가 적용될 수 있다는 것은 명백하다. 따라서, 본 발명의 범위는 하기의 청구범위에 의해서만 제한된다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 부분 뒤틀림의 감소와, 가스 터빈 엔진 적용을 위한 에어포일을 포함하는 복잡한 구조에 대한 초합금 이음부의 형성에서 공정을 단순화하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 용접 이음부의 중심선 크랙 및 루트부 크랙의 위치를 표시하고, 초합금 지지물(backer)을 구비한 2개의 단결정 초합금 구성요소의 용접 이음부를 나타내는 단면도,

도 2 및 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 초합금 지지물을 갖는 2개의 단결정 초합금 구성요소 사이에 크랙이 없는 용접 이음부를 형성하기 위한 공정을 나타내는 단면도,

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 2개의 단결정 초합금 구성요소 사이에 형성된 크랙이 없는 용접 이음부를 관통하는 단면의 현미경 사진.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

12, 14 : 부재 16 : 지지 스트립

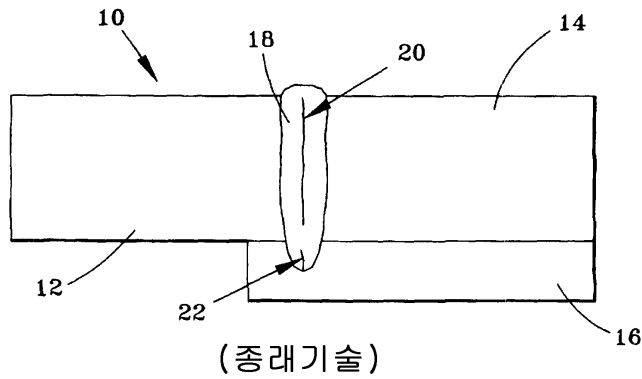
24 : shim 30, 32 : 인접 표면

38 : 전자빔 40 : 맞대기 용접 이음부

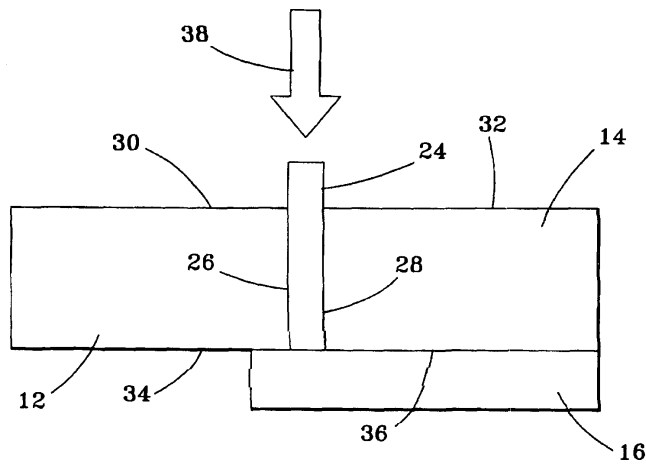
42 : 이음부 루트부

도면

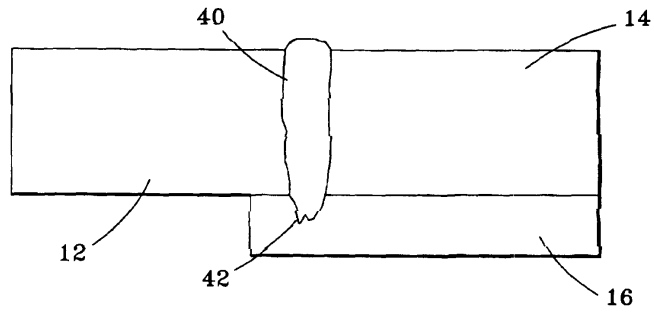
도면1



도면2



도면3



도면4



N5 EB 이음부에서의 W자형 루트부