(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.[6]
B23P 15/04

(11) 공개번호 특2001-0031463
(43) 공개일자 2001년04월16일

(21) 출원번호 10-2000-7004497
(22) 출원일자 2000년04월26일
번역문제출일자 2000년04월26일
(86) 국제출원번호 PCT/US 98/22766
(87) 국제공개번호 WO 99/21681
(86) 국제출원출원일자 1998년10월27일
(87) 국제공개일자 1999년05월06일
(81) 지정국 AP ARIPO특허 : 가나 감비아 케냐 레소토 말라위 수단 스와질랜드 우간다 짐바브웨

EA 유라시아특허 : 아르메니아 아제르바이잔 벨라루스 키르기즈 카자흐스탄 몰도바 러시아 타지키스탄 투르크메니스탄

EP 유럽특허 : 오스트리아 벨기에 스위스 사이프러스 독일 덴마크 스페인 핀랜드 프랑스 영국 그리스 아일랜드 이탈리아 룩셈부르크 모나코 네덜란드 포르투칼 스웨덴

OA OAPI특허 : 부르키나파소 베넹 중앙아프리카 콩고 코트디브와르 카메룬 가봉 기네 기네비쏘 말리 모리타니 니제르 세네갈 차드 토고

국내특허 : 알바니아 아르메니아 오스트리아 오스트레일리아 아제르바이잔 보스니아-헤르체고비나 바베이도스 불가리아 브라질 벨라루스 캐나다 스위스 중국 쿠바 체코 독일 덴마크 에스토니아 스페인 핀랜드 영국 그레나다 그루지야 가나 감비아 크로아티아 헝가리 인도네시아 이스라엘 아이슬란드 일본 케냐 키르기즈 북한 대한민국 카자흐스탄 세인트루시아 스리랑카 라이베리아 레소토 리투아니아 룩셈부르크 라트비아 몰도바 마다가스카르 마케도니아 몽고 말라위 멕시코 노르웨이 뉴질랜드 폴란드 포르투칼 루마니아 러시아 수단 스웨덴 싱가포르 슬로베니아 슬로바키아 시에라리온 타지키스탄 투르크메니스탄 터어키 트리니다드토바고 우크라이나 우간다 미국 우즈베키스탄 베트남 유고슬라비아 짐바브웨

(30) 우선권주장 60/063,640 1997년10월27일 미국(US)
(71) 출원인 지멘스 웨스팅하우스 파워 코포레이션 랭크 크리스토퍼 제이
미국 플로리다주 32826-2399 올랜도 엠씨 301 알라파야 트레일 4400
(72) 발명자 벌크마이클에이.
미국펜실베니아15213피츠버그월링포드스트리트4723
프레이어폴라디.
미국펜실베니아16066크랜베리타운쉽콜링우드코트219
헤바모한에이.
미국플로리다32765오비에도레인포레스트코트5722
세쓰브리즈비.
미국플로리다32751마잇랜드인디안댄스코트1641
스와트즈벡그레이더블유.
미국펜실베니아15642노스헌팅돈드롭로드11509
자거토마스월터
미국플로리다32708-6138윈터스프링스와링톤스트리트1594
(74) 대리인 장용식

심사청구 : 없음

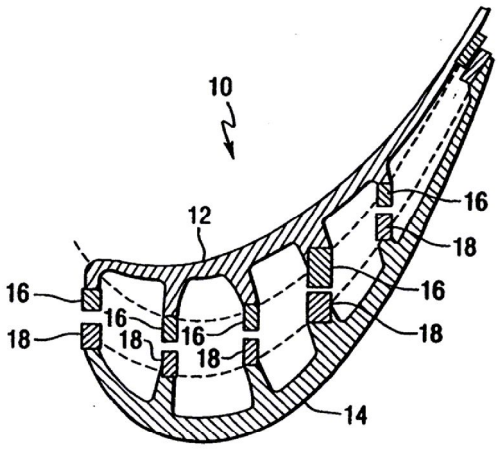
(54) 주물 초합금을 접합하는 방법

요약

주물 초합금을 접착하는 방법이 개시된다. 이 방법은, 별개의 초합금 구성요소 부분(12, 14)를 주조하는 단계, 제어된 방식으로 별개의 부분의 결합면을 가공하여 재료의 재결정화를 방지하고 이들 사이에서

억지 끼워맞춤을 확보하는 단계, 이 부분들을 서로 접합하는 단계, 접합된 구성요소를 열처리하는 단계를 포함한다. 바람직한 실시예에 있어서, 구성요소(10)는 지상기지용 터빈 블레이드이다.

대표도



색인어

니켈계초합금, 재결정화, 터빈블레이드, 포일, 페이스트, 전기방전가공, 고용화열처리, 전이액상접합

명세서

기술분야

본 출원은 1997년 10월 27일자에 출원된 미국 가출원 일련번호 60/063,640의 잇점을 청구한다. 본 발명은 주물 초합금의 접합에 관한 것인데, 더 상세히는 터빈 등을 위한 주물 초합금 구성요소를 접합하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

현대의 고효율 동력발생 연소터빈엔진에 채용되는 최신식 블레이드 및 베인은 단결정 합금과 같은 고품질의 재료 및 그 부분의 내외부 크기의 정확한 제어에 의존한다. 이러한 부분의 큰 크기 때문에, 몇몇의 루트에 의해서 비용효율이 높은 제조가 수행되고 있다.

개발중인 개량형 터빈시스템(ATS)과 같은 지상기지 가스터빈은 개량된 재료로부터 제조된 비용효율이 높은 고 효율 구성요소를 요구한다. 제 1 및 제 2 로우(row) 터빈블레이드 및 베인은 복잡한 내외부 결합구조를 포함하고, 그리고 무결점 재료로부터 제조되어야만 한다. 비록 상기와 같은 특징을 가진 구성요소는 항공기엔진용으로 개발되고 있지만, 동력발생 터빈구성요소의 보다 큰 크기는 결정적인 문제을 제공한다. 지금까지 캐스팅 실험은 어떠한 두드러진 산출률로 무결점의 큰 구성요소를 생산할 수 없었다.

변경적인 제조방법은 무결점의 보다 작은 하위구성요소들을 필수적으로 주조하고 계속해서 고 품질 접합처리과정을 이용하여 하위구성요소들을 연결하는 것이었다. 그러나, ATS-류 엔진에 사용될 것을 목적으로 한 CMSX-4와 같은 단결정 재료를 함유하는, 개량된 합금에 대한 요구된 접합기술은 일반적으로 이용할 수 없었다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 실시예에 따라, 단결정 니켈계 초합금의 접합은 기본재료의 성분이 유사한 접합 포일을 채용하지만 약 1 내지 3 무게 퍼센트 붕소에서와 같은 추가적인 용융점 억제제를 함유하여 포일의 용융점을 낮춘다. 접합포일의 주요 원소 성분은 기본재료의 성분과 비슷하여 응고 후에 접합구역을 가로질러 거의 일정한 화학적 분배를 제공한다. 접합프로세스는 예컨대 약 100 내지 150° F 로 합금의 거시 용융점 이하가 아니면 포일의 용융점이상의 온도에서 등온적으로 일어난다. 접합열사이클은 고체상태유포를 야기시켜 접합된 접촉면으로부터 멀리 붕소를 확산시키기에 충분하고, 이에 의해 국소 용융점을 상승시켜 단결정의 종래적인 열처리에 적합한 재료를 만든다. 이 방법은 CMSX-4등과 같은 단결정합금을 접합하는데 사용될 수 있다.

지상기지의 가스터빈의 블레이드와 같이 큰 부분을 접합하기 위한 부분 준비는 두 면사이에 약 0.0025cm(0.001inch) 정렬로 아주 양호한 접합면 메칭 즉 결합을 요구한다. 이러한 정밀함은 결합 부분의 공통 전기방전가공에 의해 또는 면의 저 응력 가공/그라인딩에 의해 주조된 후, 일부분 발생될 수 있다. 이러한 절차는 약 0.0025cm(0.001inch)내에 놓인 면윤곽을 발생시킨다. 또한 이 방법은 예컨대 2,408° F에서 CMSX-4의 고용화열처리와 같은 SC합금의 고온고용화처리를 포함하는 순차적인 접합 및 열처리사이클시 재결정화에 약점이 없게 하도록 충분히 왜곡된 면을 생산한다.

단결정 니켈계 초합금은 전이액상 접합을 사용하는 다결정체로된 초합금에 접합될 수 있다. 페이스트 또는 포일인 접합매체의 화학적 성질과 접합을 이루도록 요구된 열사이클이 제어될 수 있어서, 결과로서

생기는 조인트는 화학적 성질과 미세구조의 계속적인 변이를 나타내고, 조인트구역에서 발생된 특성은 전체적으로 기본 단일결정특성들 사이 또는 다결정체인 기본재료, 예컨대 보다 약한 기본재료 구성요소의 특성의 적어도 약 80 퍼센트에 있다.

주물의 섹션크기를 감소시킴으로써, 개량된 품질은 다듬질된 부분 즉 결정입계의 발생으로 야기될 수 있고, 쪼개진 조각과 작은 반점은 주물의 섹션크기 만큼 감소될 수 있다. 더욱이 주조섹션이 고체섹션으로 선택될 수 있기 때문에 내부코어의 상대적으로 날카로운 특성을 통하여 캐스팅과 연관된 캐스팅문제가 회피될 수 있다. 결점이 있는 주물을 생산하는 경향을 감소시키기 위해 이들 방법을 사용함으로써, 주물은 80 내지 90 퍼센트의 정렬로 주물생산이 가능할 수 있다.

본 제조방법은 터빈블레이드 하위구성요소와 같은 나누어진 섹션의 조립체를 기초로 한다. 이 나누어진 섹션은 접합평면으로서 사용될 수 있는 낮은 취약성 면에 의해 경계 지워질 때 특정적으로 형성된다. 이러한 분할은 쉽게 주조될 수 있는, 다루기 쉬운 조립체에 적합한, 그리고 최소한으로 응력을 받은 위치에 접합평면(들) 위치를 정하는 보다 작은 세그먼트로 구성요소를 나눈다. 효과적으로, 설계분할처리는 접합평면을 가로질러 현저한 로딩을 받을 수 없는 만곡면을 계속적으로 서서히 일치하게 한다. 하위구성요소의 면으로부터 침입특성, 돌출특성 및 날카로운 만곡을 제거하는 것은 주조생산을 증가시킬 뿐만 아니라 접합시 하위구성요소의 고정물과 접합 매체의 적용을 용이하게 한다.

전이액상접합 프로세스는 향상된 단결정 합금의 큰 블레이드의 접합하는 기회를 나타낸다. 심지어 단결정 구조에 있어서, 후접합열처리가 기본 금속에서 뿐만 아니라 접합구역에서 최적의 γ/γ' 구조를 제공하는데 적합하게 될 수 있다면, 접합포일의 화학적 성질은 접합구역을 가로지르는 연속적인 구조를 제공하도록 변경될 수 있다.

최신식의 유한 요소 모델링(FEM)과 결합된 컴퓨터 응용 설계(CAD)는 분할된 하위구성요소의 개발 및 기계적인 분석을 도와주도록 사용될 수 있다. 이러한 기술은 고체 모델을 별개의 구역으로 분할하는 세그먼트화된 면을 가진 블레이드 결합구조의 한정을 허용한다. 고유 블레이드로부터 시작하여, 잠정적인 세그먼트화 면을 선택하고 상기 면을 가로지르는 예상된 부하의 관점으로부터 정량적으로 그것들을 평가함으로써 세그먼트화를 진행한다. 그 다음에 상기 면들은 주조 및 접합을 도와주는 매끈한 연속면을 제공하는 것의 관점으로부터 정상적으로 고려된다. 선택된 면들은 그 다음에 주물 품질을 손상하고 접합을 방해할 날카로운 모퉁이 같은 특징부를 제거하도록 수정될 수 있다. 상기 수정된 면은 그 다음에 상기 접합라인을 가로지르는 잠정적인 부하를 재평가하기 위해 FEM을 사용하여 분석될 수 있다.

널리 사용되는 블레이드 설계요건은 고 사이클 피로, 저 사이클 피로(LCF), 크리프, 가소성 및 열-기계적인 피로(TMF)를 포함한다. 잠정적인 접합면의 FEM은 접합된 금속의 기계적인 특성이 이러한 요건을 만족하는지 여부를 나타낸다. 효율적으로, 상기 접합구역 특성은 상기 재료의 요건에 의해 한정된 특성들을 극복해야만 한다. 비록 본 접합프로세스가 바람직하게 기본 금속 성능의 80 내지 90퍼센트를 목표로 하지만, 합성 재료 특성은 접합위치에서 약간 감소될 수 있기 때문에, 접합면은 작용하는 응력이 최소화되는 위치에 위치되어 있다.

캐스팅 품질은 보다 얇은 섹션 케스팅과 보다 양호한 접합을 요구하는데 필요하고 한편, 접합효율은 보다 낮은 접합과 보다 두꺼운 섹션 케스팅을 요구한다. 예를 들면, 단결정 블레이드의 제어하는 단면은, 예를 들면 약 102 mm(4 inch)의 두께가 될 수 있다. 상기 블레이드를 복수의 부분으로 설계함으로써, 이러한 단면은 그것의 최대 폭의 위치에서 약 25 mm(1 inch) 이하로 작게 감소될 수 있다. 블레이드 높이의 대부분에 대해서, 주물 두께는 약 13 mm (0.5 inch)보다 더 작게 될 수 있다. 예를 들면 약 13 mm(0.5 inch)로부터 6 mm(0.25 inch)로, 부분의 폭에 있어서의 부가적인 감소가 주물 품질 및 산출률을 더욱 개선시킬 수 있다.

표준 코어의 블레이드를 위한 제1 접합평면의 섹션은 최초의 코어 위치에 관련하여 선택된다. 바람직한 방법은 에어포일 섹션의 중심선을 따라 코어를 통상적으로 위치시키는 것이다. 블레이드의 중심선은 통상적으로 열 플럭스가 낮고 기계적인 응력이 작은 평면이기 때문이다. 냉각된 블레이드에 있어서, 내부온도는 또한 상대적으로 낮다. 더욱이, 높은 방사상의 응력이 이러한 평면상에서 나타날 수 있는 한편, 접합면을 가로지르는 응력은 낮다. 에어포일을 통해 종래적인 코어 스플릿 라인이 선택되면, 루트의 중심과 플랫폼을 통하여 분할이 계속된다. 이 응력과 온도는 플랫폼의 상면의 응력 및 온도 보다 작게된다.

중심 라인 위치는 블레이드 세그먼트들에 대한 초기의 주요한 맞물림면을 한정한다. 그 다음에 에어포일의 선도하는 에지와 뒤따르는 에지의 외부 벽면에 대한 돌파구는 결합구조의 고려 하에서 수정된다. 선도하는 에지벽 돌파구는, 전형적으로 단편 주물 왁스 패턴 코어 다이 스플릿 라인인, 선도하는 에지벽 반경의 정점에 의해 위치되어 있다. 뒤따르는 에지에서, 맞물림면의 위치를 한정하는 뒤따르는 에지 반경의 정점에 의해 이러한 동일한 방법이 계속된다. 제안된 세그먼트화의 이러한 수정 후에, 새로운 접합 평면을 가로지르는 예상된 설계 응력은 유한 요소 모델을 사용하여 재분석되고 접합된 금속의 예상된 특성에 비교된다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 플랫폼 및 루트가 다른 조건하에서 주조될 수 있는 동안 매우 엄격한 조건하에서 매우 높은 정밀구조로서 플랫폼으로부터 에어포일을 분리시키고 루트부분은 에어포일을 주조하는 것을 허용한다. 각 주물의 길이 및 두께를 감소시킴으로써, 주물 산출률은 개선될 수 있다. 이러한 형태에 있어서, 플랫폼으로의 에어포일의 연속은 에어포일-플랫폼 필릿 반경의 바닥부의 패턴을 뒤따르고 적어도 플랫폼으로 충분히 깊게 뻗어서 국소의 방사상 응력이 접합된 재료특성의 목표수준 이하로 떨어진다. 이것은 에어포일벽 두께와 동등한 깊이에서 발생하고 에어포일벽 두께와 동등한 깊이에서 응력은 그 섹션을 가로질러서 매우 낮고 일정하다. 이 위치에서, 실행온도는 또한 에어포일 온도 이하로 수 백도 떨어진다.

잔여의 블레이드 부분의 세그먼트화는 플랫폼의 결합구조의 쌍을 이룬 틈새 및 루트섕크(shank) 영역이다. 이러한 세그먼트화는 주로 주물 산출률을 더욱 향상시키기 위해서 주물의 단편크기를 감소시킨다.

잔여의 루트섹션은 대략 동일한 두께를 가진 부분으로 분할될 수 있다. 이러한 분할은 본질상으로 한 방향으로 만곡되어 있는 연속적으로 만곡된 면을 생산할 수 있다. 이 평면을 가로지르는 응력 및 온도는 비교적 낮다.

원하는 강도가 모 금속의 80 퍼센트 보다 작은 접합면을 선택함으로써, 모든 설계 기준이 충족된다. 접합프로세스는 모듈을 변형시키지 않고 최종블레이드의 기학학형상은 접합된 또는 단편 캐스팅에 대하여 동일하기 때문에 어떠한 진동수 변화도 기대되지 않는다. 접합면은 TMF 또는 LCF가 한계에 접근할 수 있는 위치로부터 떨어져서 특정적으로 선택된다. 주목할 만하게, 접합지역에서, TMF와 LCF수명은 심지어 특성에서의 보다 큰 감소로 인해 초과될 수 있다. 다양한 모드를 위해 꾸준한 진동성의 응력 부과는 접합면을 횡단하기 보다는 평행하거나 매우 적은 레벨에 있다.

본 발명의 양태는 주물 초합금을 접합하는 방법을 제공하는 것이고, 본 발명은 초합금 세그먼트를 주조하는 단계, 인접 세그먼트의 접촉면을 특정 공차로 준비하는 단계, 접합매체와 함께 세그먼트를 접합하는 단계, 세그먼트를 석출열처리하는 단계를 포함한다.

본 발명의 이러한 양태와 다른 양태는 이하 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 단결정 니켈계 초합금을 위한 바람직한 미세구조를 보여주는 현미경사진,

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예를 따라 접합될 수 있는 단결정 니켈계 초합금의 미세구조를 보여주는 현미경사진,

도 3은 도 2의 초합금의 전이액상 접합구역의 미세구조를 보여주는 현미경사진,

도 4는 붕소를 함유하는 포일과 접합되는 단결정 니켈계 초합금의 주물상태구조를 보여주는 현미경 사진,

도 5는 열처리 후 도 4의 초합금의 미세구조를 보여주는 현미경사진,

도 6은 붕소를 함유하는 포일과 접합하는 단결정 니켈계 초합금의 전이액상 접합구역를 가로지르는 몇몇의 원소의 농도를 도시하는 그래프,

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 전이액상 접합 및 열처리를 받는 단결정 니켈계 초합금의 미세구조를 보여주는 현미경 사진,

도 8은 본 발명의 실시예에 따라 접합 및 열처리를 받는 단결정 니켈계 초합금의 바람직한 미세구조를 보여주는 현미경 사진,

도 9는 고 붕소 함유 포일과 접합된 단결정 니켈계 초합금의 접합라인에 형성된 유독한 붕산화물 입자를 보여주는 현미경사진,

도 10은 도 9의 접합라인을 확대하여 보여주는 현미경사진,

도 11은 고 붕소함유 포일과 접합된 단결정 니켈계 초합금에 고용화된 결합구역를 보여주는 현미경사진,

도 12는 본 발명의 실시예에 따라 고용화 및 석출처리를 받는 단결정 니켈계 초합금의 접합구역에 있는 개선된 미세구조를 보여주는 현미경사진,

도 13은 단결정 니켈계 초합금의 대향면들 사이에 접합라인을 보여주는 현미경사진,

도 14는 본 발명의 실시예에 따라 전이액상접합에 앞서 단결정 니켈계 초합금 세그먼트의 두 대향면 사이에 미세한 틈새를 보여주는 현미경사진,

도 15는 단결정 니켈계 초합금 세그먼트들 사이에 접합라인을 도시하는 현미경사진,

도 16은 본 발명의 실시예에 따라 가공될 수 있는 터빈 블레이드 에어포일 세크먼트의 단면도,

도 17은 본 발명의 방법에 따라 분할된 터빈블레이드 절반의 세그먼드와 이 절반의 세그먼트들의 결합을 도시하는 사시도,

도 18은 본 발명의 실시예에 따라 터빈블레이드 세그먼트들의 결합을 도시하는 사시도,

도 19는 본 발명의 실시예에 따라 다결정체로된 초합금 접합에 대한 단결정 초합금의 미세구조를 보여주는 현미경사진, 그리고

도 20은 다결정체로된 초합금 조인트와 단결정 초합금의 접합구역을 가로지르는 다양한 원소의 농도를 도시하는 그래프.

실시예

가스터빈 구성요소같은 초합금의 구성요소의 단결정부분을 서로 접합하는 기능은, 실질적으로 무결점의 단결정 블레이드와 베인의 효과적인 제조원가를 위한 잠재력을 이용할 수 있게 할 뿐만 아니라 개선된 구성요소를 개량시키기 위해 정확하게 주름 잡혀진 냉각통로 같은 개선된 기하학상의 특징을 포함하고 종래적인 단편 캐스팅에 의해 제조될 수 없게 하는 개선된 구성요소를 개량하게 한다. 본 방법은 가스터빈 등과 같은 복잡한 무결점의 단결정부분의 고생산성을 가능하게 한다. 또한 본 방법은 이러한 구성요소들을 재작업하고 보수하는 능력을 제공한다.

단결정 구성요소가 의도되는 엄밀한 온도와 응력작동조건로 인해 접합된 단결정은 접합라인을 통하여 계

속적으로, 거의 최적의 화학적 성질과 결정학과 미세구조를 보여주어야 한다. 이러한 조건에서 접합구역성질은 구조가 노출된 응력 및 온도조건을 한정한다. 특히, 고온강도요건은 접합구역에서 γ/γ'미세구조가 단결정에서 어는 곳에서도 실질적으로 동등하게 해야한다. 합금 CMSX-4에 의해 예시된 바와 같은 제2 생성 초합금을 위해 입방체들 사이에 γ채널에 γ'의 보다 양질의 회전타원체의 제2 및 제3 분배를 갖춘 γ'의 거의 0.5μm의 연속적인, 규칙적인 배열이 있다.

도 1은 단결정 합금 CMSX-4를 위해 이러한 최적의 구조를 예시한다. 이러한 구조는 크리프 저항 같은 가장 높은 온도시간 독립특성을 제공하도록 최적화된다.

전이액 액상접합은 초합금에서 고 품질의 조인트를 생성하는 결합프로세스이다. 이러한 등온과정에 있어서, 접합재료 예컨대 포일 또는 덩어리가된 페이스트의 얇은 스트립은 접합될 재료의 두 부분사이에 위치된다. 접합재료는 기본재료과 유사하지만 합금에서 신속한 고체상태 확산을 또한 보여주는 용융점을 낮추는 원소의 여분의 추가를 또한 포함한다. 니켈계 합금을 위해 규소 및 붕소는 바람직한 용융점 억제제이다. 접합된 단결정에서 할 수 있는 고온적용을 위해, 구성요소인 붕소는 규소가 부식문제를 야기 시킬수 있으므로 바람직한 원소이다.

본 프로세스는 기본재료의 체적용융점 아래가 아니라면 포일의 용융점위에 놓여있는 온도에서 실질적으로 등온적으로 실행된다. 붕소는 풍부한 포일로서 접착의 어느 한측상의 기본재료에 혼합되어 기본금속의 일정용해와 더 넓은 액체구역를 만들어 낸다. 액체구역이 넓어짐에 따라 액체에 있는 붕소의 농도가 용융풀(pool)이 평형액상농도에 있는 붕소에서 충분하게 희석된다. 동시적으로 고체상태확산은 붕소가 접합풀에 둘러싸임으로부터 제거되게 한다. 이들 두 프로세스는 두 고체 전면이 접합의 거의 중심선에서 만날 때까지 접합풀로부터 용융점 억제제의 감소를 낳는다.

접합매체의 화학성질과 접합프로세스의 온도를 주의깊게 제어함으로써, 본 등온 접합프로세스는 접합구역내의 화학성질과 기본재료의 미세구조를 다시 생성시키도록 제어될 수 있다.

접합프로세스시, 소정의 매개변수가 바람직하게 제어된다. 용융점 억제제의 양은 기본재료 (즉 수백。F)아래 에서 충분하게 용융될 접합포일을 제공하기에 충분해야 한다. 접합온도는 양질의, 잘 혼합된 접합구역을 생성하도록 접합포일과 기본재료의 유사한 두께를 용융하기에 충분하여야 한다. 접합포일의 양은 기본재료의 용융을 생성하고 매우 잘 제어된 접합 조인트를 제공하기에 충분하여야 한다. 접합구역 용융과 재결정화는 해로운 화학적성질과 상분리가 접합구역내에서 일어나지 않도록 충분이 잘 제어되어야 한다. 접합 포일(즉, 니켈, 크롬, 코발트, 알루미늄, 티타늄, 탄탈, 텅스텐, 몰리브덴, 니오브 등)의 주 원소 화학성질은 화학성질과 접합구역의 구조가 기본재료의 구조와 효과적으로 연속적이 되도록 접합될 재료에 충분히 잘 맞추어야 한다. 접합포일성분은 어떠한 혼합이 용융구역에서 일어나기 때문에 기본재료의 성분과 일치될 필요는 없다. 또한 알류미늄과 티타늄은 최종재료로 분리되어 고체화되고, 이들 원소는 접합포일로부터 제거되어 접합중심선에서 해로운 γ'공정물을 형성하지 않는다. 게다가, 접합부를 가로질러 결정을 제어하거나 맞추고, 접합될 단편의 결정학적인 설정방향에 맞추는 것이 바람직하다. 등온 접합을 위한 기본 재료성분, 이것의 용융점, 접합포일 주 원소성분, 붕소의 양과 온도는 현과정에 의해 생성된 접합구조와 화학성질을 결정하는 이 모두 를 가로지르는 변하기 쉬운성질이 있다. 붕소를 니켈계 합금에 추가하는 것은 각각의 무게 퍼센트 추가당 약 100 내지 150。F로 용융점을 낮춘다. 2,400。F 이상의 용융점과 분리된 주조형태상의 초기용융점이 다소 낮은 상태로, 포일은 약 1 내지 3 무게 퍼센트 붕소를 함유하여 전체용융 없이 국부적인 용융을 가능하게 하는 2,000 내지 2,300。F 상태내로 용융점을 감소시킬 수 있다. 접합포일의 주 원소 성분이 기본재료에 이상적으로 매우 가깝다 하더하도, 상당한 차이가 실질적으로 허용될 수 있다. 단결정 초합금에 있는 많은 합금원소들 때문에, 성분에 있어서 작은 차이는 용융점에 현저하게 영향을 주지않는다. 또한, 기본재료를 접합구역용융풀내로 용해시키는 것은 접합포일과 기본금속성분에서의 차이를 상호보충하려는 의도가 있다. 게다가 레늄같은 어떤 값비싼 원소는 원가를 줄이기 위해 포일에 바람직하지 않을 수 있다. 최종적으로 접합구역의 재결정화시 공정체γ'형태를 억제하기 위해 접합포일의 티탄과 알루미늄 내용물은 감소되어야 한다.

본 방법은 니켈계 단결정 초합금 CMSX-4에 적용될 수 있다. 합금의 성분은 표 1에 표시한다. 또한 표 1의 리스트는 CMSX-4의 단결정과 전이액상접합을 조작하는데 사용될 수 있는 몇몇의 접합포일의 성분이다.

[표 1]

기본 합금 및 접합 포일의 조성물 (무게 퍼센트)

합금	니켈	크롬	코발트	알루미늄	티탄	니오브	몰리브덴	탄탈	텅스텐	레늄	하프늄	지르코늄	붕소
CMSX-4	나머지	6.6	9.6	5.5	1.0	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	---
텅스텐-포일 1	나머지	6.5	9.6	5.5	1.0	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	1.5
텅스텐-포일 2	나머지	6.5	9.6	2.9	0.5	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	1.5
텅스텐-포일 3	나머지	6.5	9.6	5.5	---	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	1.5
텅스텐-포일 4	나머지	6.5	10	2.9	---	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	1.5
니켈-플렉스 110 (1.3 붕소)	나머지	10	5.0	2.0	---	---	---	4.0	4.0	---	---	---	1.3
니켈-플렉스 110 (1.7 붕소)	나머지	10	5.0	2.0	---	---	---	4.0	4.0	---	---	---	1.7
니켈-플렉스 110 (2.5 붕소)	나머지	10	5.0	2.0	---	---	---	4.0	4.0	---	---	---	2.5
니켈-플렉스 115 (3.0 붕소)	나머지	9.0	8.0	2.0	---	---	---	4.0	4.0	---	1.0	---	3.0
니켈-플렉스 120 (1.7 붕소)	나머지	10.0	5.0	1.3	1.0	---	---	5.0	3.0	---	---	---	1.5
니켈-플렉스 120 (1.9 붕소)	나머지	10.0	5.0	1.3	1.0	---	---	5.0	3.0	---	---	---	1.7
니켈-플렉스 121 (2.4 붕소)	나머지	10.0	10.0	---	---	---	---	5.0	---	---	---	---	2.4
니켈-플렉스 121 (3.0 붕소)	나머지	10.0	10.0	---	---	---	---	5.0	---	---	---	---	3.0

텅스텐-포일1 내지 4는 용융점 강하를 위해 추가된 1.5 무게퍼센트 붕소를 갖춘 CMSX-4 합금성분의 파생물이다. 알루미늄과 티타늄의 양은 CMSX-4 접합의 화학성분과 구조상에 부가물을 형성하는 공정체γ'의 효과를 고려하도록 조정된다. 니켈플렉스 포일은 Medford, MA의 재료개발 회사로부터 획득 가능한 일련의 상업적포일이다. 이들 포일의 성분이 CMSX-4와 현저하게 다르게 나타난다 하더라도, 우수한 접착은 아래에 설명하는 바와 같이 몇몇의 이들 포일로 만들어진다. 유사하게, 이러한 접합재료를 사용하면, 양호한 접합은 다른 니켈계 초합금 예컨대 레늄을 많이 또는 적게 함유하는 합금으로 형성될 수 있다.

접합온도는 포일의 용융점과 기본재료의 용융점사이에 있도록 선택된다. 붕소가 각각의 무게퍼센트추가당 약 100 내지 150。F로 니켈합금의 용융점을 낮추기 때문에, 1 내지 3 무게 퍼센트 붕소는 2,400。F 이상으로부터의 단결정합금의 용융점을 2,000 내지 2,300。F 범위 내로 낮춘다. 붕소 내용물에 대해 접합온도의 제어는 접합구역의 너비, 용해가 발생하는 요소적인 혼합 및 재결정화가 발생하는 편석을 결정한다. 고온접합은 용융된 포일, 양호한 접합풀 혼합 및 붕소의 가속화된 고체상태 확산에 의해 접합면이 빠르게 혼합하게 하여 재결정화처리율을 증가시킨다. 또한 고온 접합은 감소된 붕소를 함유한 포일을 사용하게 하여 재결정화 처리시 붕산화물 입자의 잠재적인 형성과 광범위한 고체상태를 필요로 하지 않게 한다.

초기 실험후, 4 시간동안 2,250。F의 접합사이클은 이 온도가 제어된 접합구역을 생성시키고 어떠한 해로운 γ'성장을 나타나지 않았기 때문에 접합포일용으로 선택된다. 기본합금 및 포일의 큰 합금 내용물 때문에, 포일의 금속 원소성분은 기본합금의 용융점 낮춤에 현저한 효과를 내지 못한다. 그러나, 재결정화된 접합구역의 화학적 성분과 열처리시 접합구역내에 발생된 미세구조에 현저한 효과를 갖는다. 재결정화 후에 접합구역내의 원소들의 화학적 분리는 접합프로세스의 제1 상태시 기본재료의 용해의 정도와 접합구역크기에 의해 제어된다. 또한 기본재료의 상태 즉, 분리 또는 균질화 물질의 상태에 의해 영향을 받는다. 이러한 논점은 분리 된 캐스팅의 γ'이 풍부한 상호수지상 구역의 우선적인 용해로 인해, γ' 공정물이 접합선에 형성된 많은 붕소를 함유하는 포일과 주물상태 CMSX-4의 접합에 있어서 명백하게 된다. 이 공정 재료는 그 다음 접합선에 재배치된다. 많은 붕소를 함유한 포일이 사용되면 이러한 문제는 균질화된, 용해처리된 CMSX-4를 사용함으로써 감소되거나 없어진다. 이러한 경우에 있어서, 균질화된 구조는 일정하게 용융되어 γ'공정물을 형성하는 원소에서 덜 풍부한 용융풀을 생성한다. 결과적으로 재결정화된 접합구역은 해로운 γ'공정물을 보여주지는 않는다.

[표 2]

CMSX-4에 대한 램프된 고용화 열처리 사이클

시간 (분)	온도 (℃)	온도 (°F)
0	23	73
60	1027	1880
80	1027	1880
110	1235	2255
140	1235	2255
170	1260	2300
185	1260	2300
215	1277	2330
335	1277	2330
365	1288	2350
485	1288	2350
500	1296	2365
680	1296	2365
695	1304	2380
875	1304	2380
890	1313	2395
1130	1313	2395
18시간 50분		전 사이클 시간

접합열처리 후에 최적의 화학성질 및 구조를 접합구역 뿐만 아니라 기본금속의 잔여부분에 생성하여야 한다. 이러한 열처리 사이클은 캐스팅 및 재결정화 후에 획득된, 분리된 구조를 균질화하여야 하고, 또한 γ'을 강화시키는 석출물의 최적의 형태의 성장과 석출을 야기시킨다. CMSX-4를 위한 고용화 및 열처리사이클이 이것을 성취하기에 적합하다. 바람직하게 이 고용화처리는 표2 에 일치하는 형태의 급격한 열처리이다. 이러한 사이클시 온도를 천천히 증가시킴으로써, 국부적인 용융온도를 올리는 고체상태의 상호확산을 하게 함으로써 초기 용융은 실질적으로 회피된다. 이러한 접합 및 고용화 열처리프로세스는 주물상태 단결정을 균질화하는데 효과적이고, 또한 재결정화된 접합구역을 균질화하는데 효과적이다. 더욱이, 단결정을 통해 붕소의 분산을 증가시키는데 효과적이어서 붕소가 풍부한 접합선의 용융을 방지한다. 예를 들면, 2,250。F에서 4 시간 후에 전개된 접합구역이 2,408。F의 정점 고용화 처리온도 아래에 용융점을 가질 수 있는 것은 잠재적인 문제를 회피하는 것을 돕는다. 이 잠재적인 문제는 2,250。F에서 4 시간이 분리된 단결정을 균질화하는 것을 돕기 때문에 이 사이클을 짧게 하여, 붕소의 확산이 금속 합금원소의 확산보다 더 빠르다.

고용화 열처리 후에, 석출열처리순서는 γ'을 강화시키는 석출물의 최적형태를 생성하도록 바람직하게 적용된다. 4시간 동안 2,084。F와 24시간 동안 1,650。F의 종래적인 프로세스는 거의 0.5μm 입방체의 제1 γ'석출물과 입방체들 사이에 매트릭스 채널에서 회전타원체의 제2 및 제 3 γ'석출물의 분산을 생성하는데 적용된다. 기본 단결정합금을 처리하기 위해 개발된 이들 열처리를 적용함으로써, 접합된 부분의 비접합된 부분에서 미세구조는 접합된 구역에 더하여 최적화적으로 열처리된다.

도 2는 단결정 니켈계 초합금의 기본재료를 보여주는 현미경사진이고 한편, 도 3은 이러한 초합금의 접합구역의 현미경사진이다. 이들 사진은 유사한 구조가 접합구역에서 그리고 본 발명의 상황하에 접합되는 샘플에서 접합구역으로부터 떨어져 전개되어 있다.

CMSX-4 단결정을 접합하는 바람직한 형태는 4시간 동안 2,250。F에서 접합하는 1.3 무게 퍼센트 붕소 포일을 사용한 후에 2,408。F까지 급격한 열처리를 이용하는 고용화열처리를 사용하여 4 내지 6 시간 동안 유지하고, 공간온도를 냉각시키고 그 다음 4시간 동안 2,084。F로, 24시간동안 1,650。F로 석출열처리한다. 이러한 프로세스는 바람직한 구조를 생성시킨다. 이러한 프로세스의 다른 변경은 만족할만한 미세구조를 생성하도록 채용될 수 있다.

표 3은 표1 에서 포일이 어떻게 일정한 접합구조를 인도하도록 처리될 수 있는지를 보여준다. 또한 이 표는 처리시 전개된 주요한 미세구조 특징의 일부와 일치하는지를 보여준다.

도 4는 적은 붕소를 함유하는 접합 포일들중 하나와 CMSX-4를 접합함으로써 생성된 깨끗한 접합구역을 예시한다.

도 5는 고용화 열처리 후에 상응하는 미세구조를 보여준다.

도 6은 고용화 처리된 구역을 가로지르는 어떤 화학적 분석을 선으로 기록한 것을 보여준다.

도 7 및 도 8은 이 프로세스에 의해 생성된 최적 γ'구조를 보여준다.

비교를 위해 도 9 내지 도 11은 붕소가 많이 함유된 포일과 접합시 생성된 구조를 도시한다. 공정의 입자는 접합(도 9 내지 도 10)이 순차적인 고용화 처리(도 11)에 의해 제거된 후에 보여지고 최적구조에 접근하는 구조는 석출 열처리(도 12)에 의해 생성될 수 있다는 것을 주목하라.

[표 3]

접합 프로세스 및 열처리 순서 동안에
CMSX-4의 전이액상접합의 구조

포일	접합후의 구조	고용화열처리후의 구조	석출처리후의 구조	바람직한 프로세스 사이클
텅스텐-포일 1 (1.5% 붕소)	깨끗한 접합구역, 즉 입자가 없음	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	일정한 γ' 입방체가 잘 형성되어 있음	주물상태 조건으로 접합
텅스텐-포일 2 (1.5% 붕소)	깨끗한 접합구역, 즉 입자가 없음	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	일정한 γ' 입방체가 잘 형성되어 있음	주물상태 조건으로 접합
텅스텐-포일 3 (1.5% 붕소)	깨끗한 접합구역, 즉 입자가 없음	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	일정한 γ' 입방체가 잘 형성되어 있음	주물상태 조건으로 접합
텅스텐-포일 4 (1.5% 붕소)	깨끗한 접합구역, 즉 입자가 없음	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	일정한 γ' 입방체가 잘 형성되어 있음	주물상태 조건으로 접합
니켈-플렉스 110 (1.3 붕소)	항상 깨끗한 접합구역	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	기본재료와 동일한 매우 날카로운 γ' 입자 입방체	주물상태 조건으로 접합
니켈-플렉스 110 (1.7 붕소)	항상 깨끗한 접합구역	큰 입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	기본재료와 매우 유사한 매우 날카로운 γ' 입자 입방체	주물상태 조건으로 접합
니켈-플렉스 110 (2.5 붕소)	고용화 열처리된 조건으로 접합된 경우의 입자	고용화 열처리로 입자가 용해됨	고용화 열처리된 재료가 접합된 경우에 있어서 보다 날카로운 γ' 입방체	고용화 열처리된 조건으로 접합

[표 3a]

포일	접합후의 구조	고용화 열처리후의 구조	석출처리후의 구조	바람직한 프로세스 사이클
니켈-플렉스 115 (3.0 붕소)	고용화 열처리된 조건으로 접합된 경우의 입자	고용화 열처리로 입자가 용해됨	기본재료의 것보다 더 크고 둥글게 된 모서리를 가진 입방체 γ'	고용화 열처리된 조건으로 접합
니켈-플렉스 115 (2.5 붕소)	고용화 열처리된 조건으로 접합된 경우의 입자	고용화 열처리로 입자가 용해됨	기본재료의 것보다 더 크고 둥글게 된 모서리를 가진 입방체 γ'	고용화 열처리된 조건으로 접합
니켈-플렉스 115 (1.7 붕소)	항상 깨끗한 접합구역	큰입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	기본재료의 것보다 더 크고 둥글게 된 모서리를 가진 입방체 γ'	주물상태 조건으로 접합
니켈-플렉스 120 (1.7 붕소)	항상 깨끗한 접합구역	큰입자 및 일정한 사전-입방형 γ' 입자가 없음	기본재료에 매우 유사한 매우 날카로운 γ'	주물상태 조건으로 접합
니켈-플렉스 120 (2.5 붕소)	고용화 열처리된 조건으로 접합된 경우의 입자	고용화 열처리로 입자가 용해됨	기본재료에 매우 유사한 매우 날카로운 γ'; 미리 용해된 재료에서 보다 날카롭다	고용화 열처리된 조건으로 접합

본 발명에 따라, 조립된 단결정 터빈부분의 전이액상접합은 매우 작고 잘 제어된 갭이 결합 면사이로 유도될 때 고 품질접합을 생성한다. 이들 공차면 요건은 면윤곽을 나타내는 처리기술에 의해 재생 가능하게 충족될 수 있다. 더욱이, 이들 윤곽을 나타내는 처리기술에 의해 만들어지는 응력은 접합 및 열처리를 포함하는 순차적인 열 사이클시 냉각작업의 변형된 층으로부터 재결정화를 유도하지 않도록 충분히 낮아야만 한다.

전이액상 접합을 위한 면은 이 면이 충분히 편평하다면, 전기적 조건이 작업물과 작업 도구사이에 약

0.0025cm(0.001inch)의 스파크 갭을 유지하기에 충분한 전기방전가공(EDM)에 의해, 낮은 응력 그라인딩에 의해 준비될 수 있다. 함께 끼워맞춤되어야만 하는 복잡한 윤곽의 부분을 위해, 이러한 면 윤곽은 프로세스 양극으로서 결합하는 단편들중 하나와 음극으로서 나머지 하나를 채용하는 co-EDM 또는 co-ECM 프로세스에 의해 생성될 수 있다. 예컨대, 순차적으로, 0.0025cm(0.001inch)두께 포일 재료나 페이스트에서 상당물을 사용하는 접합은 접합시 충분한 용융 및 재결정화을 위해 제공된다. 접합구역재료와 접합재료에 인접한 재료는 접합사이클 또는 순차적으로 단 결정 재료의 고온 고용화 처리시 또는 접합사이클시 재결정화되지 않는다.

재결정화는 형성시 변형의 충분히 작은 구역을 유지함으로써 바람직하게 회피될 수 있다. 전이액상 접합프로세스가 없으므로, 재료는 매우 작게 변형되어 재결정화 하지 않거나 예컨대 약0.0025cm(0.001inch)접합포일의 두께의 정렬로 유일하게 재결정화 될 것이다. 접합포일이 없으므로, 냉각 가공된 층은 전이용융프로세스에 의해 빠르게 소비되고, 재결정화 처리는 기본재료로부터 단결정 성장으로 발생한다. 이러한 상황아래, 재결정화는 접합구역에서 전이용융에 앞서 일어나지 않을 것이다. 순차적인 용융 및 재결정은 무결점 단결정을 재생한다. 단결정이 주조상태 조건에서 가공되고 접합되면, 순차적인 고용화 열처리는 접합구역에서의 재결정화를 야기시키지 않고 약 2,410。F 만큼 높은 온도에서 이루어진다.

면이 다음과 같이 설명될 프로세스:를 따라 저 응력 기반이라면 단결정 합금 CMSX-4는 주조상태조건에서 접합될 수 있고 순차적으로 열처리될 수 있다. 단결정부분주조 단계; 90 그릿(grit)입자를 갖춘 100psi 공기이하의 라이트 샌드 블라스트를 갖춘 몰드를 세정하는 단계; 0.0025cm(0.001inch)내로 평형하고 편평한 면을 접합하는 저응력 그라인드하는 단계; 진공실에서 약 60분내에 1,600。F에서부터 2,250。F까지 급격한 가열에 의해 1.3무게 퍼센트 붕소를 포함하는 포일 니켈-플레스 110을 사용하는 약 2,250。F에서의 접합하는 단계; 표2(4시간동안 2,408。F의 최대온도)에서 표시한 사이클을 사용하는 진공실에서 실체 접합된 고용화 처리 단계; 석출처리 단계(예컨대, 24시간동안 1,652。F와 4시간동안 2,084。F에서 두 단계 석출처리).

낮은 응력 그라인딩은 천분의 일인치 정도의 소량으로, 매우 높은 공차로 다듬질 될 수 있는 편평한, 평행한 면을 생성할 뿐만 아니라 니켈계 초합금에서 상대적으로 무변형 면구역을 생성한다. 이러한 그라인딩 면은 충분히 저장된 소성가공을 포함하지 않아서 인접 면구역에 재결정화를 야기시킨다. 이들 면이 열처리될 때, 이 면은 재결정화 되지 않는다. 특히, 접합재료가 작업된 면위에서 용융될 때, 재결정화가 방지된다. 고체 상태 γ'용해, 국부 면 용융 및 재결정 프로세스를 완성시키기 위해, 국부용융은 가장 빠른 동력학을 가진 프로세스이다.

도 13은 열처리와 접합에 앞서 저 응력 그라인딩에 의해 준비된 두 CMSX-4 단결정의 접합된 조인트의 단면을 보여주는 현미경사진이다. 면 기반을 갖는 샘플의 또 하나의 비 접합면에서, 또한 재결정화가 저지된다.

변경적으로, 만일 접합면이 약0.0025cm(0.001inch)의 부분갭을 생성하는 전기적 조건을 사용하는 공통 전기방전 가공에 의해 준비되면, 단결정 합금 CMSX-4는 주조상태 조건에서 접합될 수 있고 순차적으로 열처리된다. 다음과 같이 설명되는 프로세스가 채용될 수 있다: 단결정부분주조 단계; 90 그릿(grit)입자를 갖춘 100psi공기 이하의 라이트 샌드 블라스트를 갖춘 몰드를 세정하는 단계; 0.0025cm(0.001inch) 스파크 갭을 생성하는 충분한 전압 및 전류를 사용하는 co-EDM 면 결합 ; 진공실에서 약 60분 내에 1,600。F에서부터 2,250。F까지 가열된 1.3무게 퍼센트 붕소를 포함하는 포일 니켈-플레스 110을 사용하는 약 2,250。F에서의 접합하는 단계; 표2(4시간동안 2,408。F의 최대온도, 약16 내지 24시간의 사이클시간)에서 표시된 것과 유사한 사이클을 사용하는 진공실에서 접합된 물품 고용화 처리 단계; 석출처리 단계(예컨대, 24시간동안 1,652。F와 4시간동안 2,084。F에서 두 단계 석출처리).

도 14는 co-EDM 후 샘플 면을 포함하는 단면을 보여준다. 이 도면에서 EDM에 의해 형성된 얇은 재주조층은 샘플 면에서 매우 가벼운 필름으로서 나타난다.

도 15는 접합 및 열처리후의 CMSX-4의 단면을 보여주고, 이 프로세스가 단결정의 재결정을 생성하고 접합구역의 화학성질이 재결정화된 구조로서 유지되는 것을 보여준다.

본 프로세스는 접합면에 입접한 재료의 재결정를 방지하기 위해 충분히 변경되지 않게한다. 이러한 특성은 CMSX-4같은 단결정 재료에서 만족스러운 전이액상 접합의 발생을 위해 요구된다. 이들 가공프로세스에 더하여, 600 그릿 마무리로의 기계적 그라인딩 및 폴리싱 그리고 예컨대 다이야몬드 연마재를 갖춘 0.25μm로의 폴리싱 같은 낮은 응력프로세는 접합에 적합한, 적절하게 낮은 변형 면을 생성하도록 채용될 수 있다.

지상기지의 터빈 구성요소의 크기가 크기 때문에, 설계 명세서로부터 매주 작은 변형이 원하는 부분 윤곽으로부터 절대적으로 큰 편향을 발생시킬 수 있다. 이들 오프셋은 단편 캐스팅에서 현저하고, 접합된 부분 생성에서 부분들 사이의 상대적인 설치의 영향으로 인해 중요하게 된다. 효과적으로, 두 부분들 사이에 매우 작은 상대적인 변형은 접합프로세스에 의해 불완전하게 또는 부적절하게 되는 매우 큰 갭을 생성시킬 수 있다. 만족할만한 품질을 갖춘 접합 부분을 생성하기 위해 캐스팅 프로세스를 제어하여 이러한 갭을 제한하거나 사후 주조처리 변형하여 부분들 사이에 갭을 조정하는 것이 바람직하다. 프로세스의 제안된 순서는 이러한 갭과 효과적인 접합 절차의 제어를 위해 제공하는 일련의 프로세스 샘플을 제공한다.

본 프로세스의 순서는 해로운 재결정을 회피하게 한다. 재결정은 금속작업프로세스와 뒤이은 열처리사이클이 조합하여 충분히 저장된 냉각작업과 충분한 열에너지를 제공하여 새로운 입자를 국부적으로 형성할 때 재결정이 일어난다. 터빈 구성요소에서 사용된 니켈계 단결정을 위해, 이러한 작업은 그릿 또는 숏블라스팅에의해 더욱 초과적인, 정밀한 세정과 금속 작업 도구에 의해 벤딩, 압입가공, 치핑을 포함할 수 있다. 이들 프로세스가 단결정을 위해 요구되는 약 2,400。F에서 고용화 처리에 우선할 때, 이들 프로세스에 의해 유도된 손상은 재결정을 야기시킨다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 초기 캐스팅으

로부터 제조된 부분을 가공하는 것에 대한 프로세스는 세정, 접합 및 열처리사이클의 순서를 요구한다. 접합된 부분을 위해 이 접합 전에 이 부분으로부터 캐스팅 쉘의 모든 잔존물을 실질적으로 제거하는 것이 바람직하다. 추가적으로 접합은 고용화처리 이전에 바람직하게 실행된다. 따라서 이 부분들을 프로세싱하는 단계를 제어하고 차례로 나열하여 잠재적인 재결정을 회피하는 것이 중요하다. 본 프로세싱 경로는 프로세싱에 의해 부분내로 유도되는 변형량을 제한하고, 접합구역에서 뿐만 아니라 접합에서 떨어진 단결정에서 최적화된 특성을 제공하는 열처리사이클을 고려한다.

조심스로운, 낮은 압력 세정과 제어된 고온형상 그리고 끼워맞춤하는 부분의 co-EDM을 활용하면, 이 프로세스는 저 단가의 효과적인 경로을 제공하여 복합의 캐스트 부분으로부터 단결정 터빈블레이드를 제조할 수 있다.

예를 들면, 단결정 가스터빈 블레이드는 다음에 설명하는 바와 같이 프로세스에 의해 하나씩 주물부분으로부터 조립될 수 있다: 접합이전에 부분들을 기계적으로 세척하는 단계; 고온 고용화 열처리를 적용하기 이전에 부분들을 접합하는 단계; 세정시 면의 국부변형으로부터 생겨날 수 있는 열처리시 재결정을 회피시키는 단계; 접합될 부분들의 양호한 설치를 제공(예컨대, 접합된 면을 가로질러 0.0025cm(0.001inch)내에); 그리고 블레이드의 길이의 전부에 걸쳐 양호한 부분들 윤곽 제공하는 단계. 프로세싱된부분의 전이액상 접합을 포함하는 완성된 순서는 이들 목적을 성취한다.

순차적인 열처리시 재결정을 부여할 변형을 포함하지 않고 바람직한 형상을 위해 주물부분을 세정하고 이 부분을 정확하게 일치시키게 한다. 재결정을 회피하기 위한 고용화 열처리 후에, 단결정 주물부분으로부터 몰드의 세정이 종래적으로 실행된다 할지라도, 본 구성요소는 접합에 앞서 완전히 세정된다. 최상의 특성은 접합이 고용화 열처리에 앞서 실행될 때 생성되기 때문에, 이러한 세정은 고용화 열처리에 선행해야 한다. 재결정을 유도하는 위험 때문에, 접합사이클의 도입이 고용화 처리시 재결정에 대한 경향을 감소시킨다 하더라도, 기계적 마모에 의해 세정시 유도되는 변형이 최소화 되어야 한다. 이러한 요건은 저 응력 세정을 하게 한다.

단결정이 표 2의 사이클을 사용하여 순차적으로 고용화 열처리될 때, CMSX-4를 위해 연마재 입자가 60그릿 이상으로 제한되며 (구동)가스 압력가 90 psi로 제한되는 연마재 세정은 재결정화를 회피하도록 된다.

부분의 미래의 내면의 세정이 요구되고, 접합면을 가로지르는 단단히 폐쇄된 갭을 유지하도록 의도된 기계적 고정과 접촉할 모든 구역에 외면의 세정이 요구된다.

긴 캐스팅에서 양호한 부분 윤곽을 유지하는 문제는 캐스팅 정밀도를 개선시키거나 주조부분의 기계적 프로세싱을 일으킴으로써 해결될 수 있다. 계속적으로, 캐스팅과 열변형을 고려하도록 부분몰드를 적용하는 것은 부분과 몰드의 규칙적이고 육안으로 보이는 변형에 영향을 받기 쉬운 공차 내의 값의 윤곽을 생성하기 위한 수단을 제공할 것이다. 그러나, 부분과 몰드를 변형시키는 것은 원하는 윤곽으로부터 런투런(run-to-run)변형과 비 규칙적인 변형을 고려하지 않을 것이다. 작은, 단편적인 변형은 큰 지상기지의 터빈 구성요소의 길이를 걸쳐 요구된 윤곽으로부터 현저한, 절대적인 오프셋을 유도 할 수 있기 때문에, 이들 비규칙적인 또는 런투런 변형은 다른 수단에 의해 조절될 것이다. 다결정체인 합금이 공간 온도에 기계적으로 정돈 될 수 있는 한편, 재결정의 위험 때문에 단결정의 종래적인 프로세싱은 이러한 기계적 변형을 회피한다. 그러나 온도와 변형률은 효과적으로 제어된다면, 재결정을 야기시키지 않고 니켈계 초합금의 단결정을 약 40퍼센트 변형으로 벤딩하는 것이 가능할 수 있다. 연속적인 고용화 열처리시 해로운 재결정을 방지하는 동안, 이러한 프로세스는 부분 정리 예컨대 약 2 내지 3 퍼센트의 적합한, 날카로운 변형에 적용될 수 있다.

접합될 부분들 사이에 최소의, 일관된 갭을 생성하는 문제는 크기에 걸쳐 부분들을 캐스팅하고, 조정되는 방식으로 결합 면으로부터 과잉 스톡을 가공함으로써 본 발명에 따라 해결될 수 있다. 그 다음 결합면은 약 0.0025cm(0.001inch)내로 정렬되여 양호한 전이액상 접합을 확보한다. 공통-전기방전 가공은 결합 구성요소의 면을 다듬질하기 위한 능력을 가지고 있을 뿐만 아니라 충분하게 매끈한 다듬질을 제공한다. 더욱이 재 주조층이 제어된다면, 단결정의 사후 접합 재결정은 회피될 수 있다. co-EDM 가공에 있어서, 재료는 각각의 단편이 양극과 음극으로서 변경적으로 채용될 수 있기 때문에, 작업 단편들 양자로부터 재료가 제거된다. 부분들은 크기에 걸쳐 주조되어 재료제거를 위한 보다 큰 공차를 제공한다. 재료의 재거시 전류를 제어하는 것은 부분들(그리고 이러한 갭의 정밀도)사이에 갭을 제어할 뿐만 아니라 재 주조층의 깊이를 제어한다. 재 주조층의 깊이는 순차적인 열처리에서 면의 존재와 하위면 균열과 재결정을 회피하도록 최소화 되어야 한다. 또한 작업단편들 사이에 약 0.0025cm(0.001inch)갭을 제공하는 일정 레벨의 EDM 전류 유지는 순차적인 전이액상 접합시 이 전류가 소비되도록 충분히 작게될 재 주조층을 억제한다.

도 16은 에어포일(10)의 캠버라인을 따라 분리된 두 섹션(12, 14)을 포함하는 터빈블레이드 에어포일(10)의 단면도이다. 초과재료(16, 18)는 섹션(12, 14)의 접촉면에 제공된다. 도 16은 과잉스톡의 적절한 기하학과 EDM가공시 어떻게 이 기하학이 전극의 모션에 관련되어 있는지를 예시한다. 바람직하게, 초과재료(16, 18)는 역방향으로 접합면을 가로질러 제공되며, 이 초과재료는 co-EDM 프로세스에서 전극의 모션에 의해 역방향으로 제거될 것이다. 이러한 모션은 접합부의 전체 평면에 수직이지 접합부의 국부평면에 수직한 것은 아니다. 이러한 것은 내부 냉각된 가스 터빈브레이드 같은 늑골형상인 부분들을 위해 특히 중요하다.

접합면을 가로질러 캐스팅에 대한 약 0.030inch 과잉 스톡 및 0.001inch 갭에 대한 co-EMD가공의 적용은 전이액상 접합을 위해 필요한 우수한 부분 설치를 제공한다.

EDM후에, 터빈블레이드의 주물상태 결합 부분들이 도 17에 도시되어 있다.

co-EDM후에, 터빈블레이드의 결합부분들의 확대된 도면이 도 18에 도시되어 있다.

여기서 사용된 바와 같이, " 터빈블레이드" 는 터빈의 회전 블레이드 및 고정베인을 포함하는 지상기지

가스터빈의 구성요소를 의미한다. 회전 블레이드는 전형적으로 에어포일 부분 및 플랫폼을 포함하는 루트 부분을 포함한다. 고정 베인은 전형적으로 중심 에어포일 부분 및 회전 블레이드의 루트 부분에 상당하는 것으로 간주될 수 있는 2 개의 측판부분을 포함한다. 터빈블레이드는, 바람직하게 적어도 약 12inch의 전체 길이, 적어도 약 4inch의 에어포일 코드 및 적어도 약 5/16inch의 에어포일 두께를 가지는 것으로서, 비교적 크다. 회전 블레이드에 대해서는, 블레이드의 에어포일 부분의 최소 길이가 바람직하게 적어도 약 7inch이고, 반면에 블레이드의 루트 부분의 최소 길이는 적어도 약 5inch이다. 상기 회전 블레이드의 루트 부분은 바람직하게 적어도 약 3inch의 폭을 가지고 있다. 본 터빈블레이드는, 약 11inch의 길이를 가지는 에어포일 부분 및 약 7inch의 길이를 가지는 루트 부분을 가지고서, 전형적으로 약 18inch의 전체 길이를 가지고 있다. 에어포일 부분의 코드는 전형적으로 약 6inch이고, 반면에 에어포일 부분의 두께는 전형적으로 약 1inch이다. 루트 부분은 약 4 또는 5inch의 전형적인 폭을 가지고 있다. 회전 블레이드에 대해서는, 에어포일 부분은 블레이드의 전체 무게의 약 20%에 해당하고, 반면에 루트 부분은 전체 무게의 약 80%에 해당한다. 본 터빈블레이드는 바람직하게 10파운드 이상의 무게를 가지고 있고, 전형적으로는 약 20 내지 약 30파운드이다. 이것은 전형적으로 약 2파운드의 무게를 가지고 있고 실질적으로 보다 작은 크기를 가지고 있는 항공기 터빈블레이드와 비교된다. 터빈블레이드에 더하여, 본 발명에 따라 제조될 수 있는 다른 터빈구성요소는 컴부스터 캠과 고온 섹션 전이물 및 덕트를 포함한다.

접합 동안에 설치된 상기 부분들을 유지하기 위해, 노 속의 상기 부분들이 가열될 때 접합면을 가로질러서 응력을 유지할 고정구가 요구될 수 있다. 상기 고정구는 접합 동안에 고온에 견딜 수 있어야 한다. 미세한 열팽창에 의해 상기 부분들 상에 응력을 차단하는 압축 갭을 유발하는 몰리브덴 고정구가 사용될 수 있다.

상기 고정구에 있는 부분들을 조립하기 전에, 포일 또는 페이스트와 같은 접합매체가 접합면에 가해질 수 있다. 상기 고정구는 상기 부분이 로 속으로 삽입되기 전에 갭 폐쇄를 보장할 뿐만 아니라, 상기 부분들이 가열될 때에 갭 폐쇄를 유지한다. 접합 열 및 압력 사이클은 원하기만 하면 접합페이스트내의 예를 들면 바인더 종의 기체제거를 허용하도록 제어될 수 있다. 계속해서, 상기 부분들은 단결정 재료에 대해 확인된 사이클을 사용하여 접합될 수 있다.

상기 부분에 있어서의 최적의 전반적인 특성을 나타내는 바람직한 프로세스/순서는: 설치 프로세스 중에 제거를 위한 충분한 스톡을 제공하기 위하여 접합평면에 대하여 수직인 약 0.030 inch의 과잉 스톡을 가진 크기 위로 블레이드의 단결정 부분을 주조하는(성장시키는) 단계; 전달된 진동(예를 들면, 손에 쥘만한 크기의 해머를 가지고 시드(seed), 램프(ramp) 또는 라이저와 같은 주물의 처분 가능한 부분을 때리는것)을 이용하여 세라믹몰드를 청소하고 저압력 샌드블라스트(예를 들면 90 psi 이하의 공기압력, 120 그릿 이하의 모래입자)를 이용하여 보다 강한 접착력이 있는 세라믹을 청소하는 단계; 접합면을 가로질러서 양호한 설치를 제공하기 위해 상기 부분들을 공통-전기방전으로 기계가공하는 단계; EDM면(즉, 단결정면의 EDM 기계가공 중에 형성될 수 있는 탄소막)으로부터 탄소질의 잔여물을 제거하기 위해 알콜(메틸 또는 에틸), 아세톤 또는 물비누계 세정액을 사용하여 접합면을 청소하는 단계; 상기 면의 탄소막을 제거하고 찌꺼기의 부양을 세정액 속으로 녹아들게 조장하기 위해 솔브러시를 사용하여 청소하는 중에 상기 면은 약간 조잡하게 될 수 있다; 접합매체를 부분들(전이액상 접합매체의 약 0.001 inch의 접합충전물을 제공하기 위해 포일 또는 침착된 페이스트를 형성하도록 양자를 자른) 사이의 틈새 속으로 가하는 단계; 접합평면에 대해 수직으로 정렬되어 있고 모든 상기 부분들 위의 틈새의 최대 폐쇄를 만들도록 위치되어 있는 핀을 사용하여 상기 부분의 외면의 일부분에 대한 수직의 부하를 가하도록 접합면을 가로지르는 제어된 부하를 제공하는 접합고정구내에 상기 부분들을 고정하는 단계; 단결정 합금에 대해서 확인된 온도사이클(CMSX-4에 대해서 이것은 4시간 동안 2,250 °F) 및 고진공(10^{-5} τ보다 더 큰)하에서 접합하는 단계; 상온으로 냉각한 후에 상기 고정구를 제거하는 단계; 상기 합금에 대해 통상적으로 채용되어 있는 처리법을 사용하여 고용화 열처리를 하는 단계; 외부를 청소하는 것은 선택적으로 채용될 수 있다(비록 이것은 석출 열처리 후에 수행될 수 있지만); 특성을 최적화하기 위해 석출 열처리하는 단계(CMSX-4의 경우에 있어서 4시간 동안 2,084 °F 및 24시간 동안 1,652 °F 하에서 2 단계의 석출처리 프로세스); 그리고 기계적으로 형상화된 터빈블레이드를 드레싱하고 연마하는 단계이다.

부가적인 단계로서, 접합을 위하여 상기 부분들은 재응고를 유도하지 않을 프로세스를 사용하여 굽힘가공함으로써 선택적으로 곧게 펴질 수 있다. 이러한 프로세스는 재응고를 부여하기 위하여 충분한 변형 손상을 발생시키지 않고 상기 부분의 비틀림을 유발하는 고온 저 변형률 변형(초소성 변형에 유사한)을 포함한다.

완전한 터빈블레이드를 만들기 위해 단결정 부분들의 접합을 위한 일체화된 처리경로가 제공되어 있다. 연속된 처리단계는 가스터빈 엔진구성요소의 원하는 극단적인 온도에서 작용할 고품질의 단결정 구성요소를 생산하기 위하여 요구된 재료품질 및 열처리 단계를 제공한다. 그것은 최적의 접합틈새의 설치 및 처리 뿐만 아니라 최적의 부분윤곽을 생산하도록 모든 부분들 처리를 제공한다.

개략적으로, 상기 프로세스는: 경블라스트에 의해 세라믹몰드로부터 제거되어 있는 주물상태 구성요소, 설치를 확보하기 위해 결합하는 부분의 공통-전기방전 기계가공, 주물상태의 조건으로 유효하게 상기 부분들을 접합하는 단계, 그리고 상기 부분들을 계속하여 고용화열처리 및 석출열처리하는 단계를 채용한다. 이러한 순서의 변형은 또한 가능하고 그 변형에 있어서 윤곽 및 부분설치를 개량하도록 미리 접합된 부분들의 제어된 고온형성이 채용되어 있다.

본 발명의 또 하나의 실시예에 따라, 단결정을 다결정체인 니켈계합금에 결합하는 것은 현재 모든 단결정인 터빈 구성요소에서 현저한 단가 절약을 제공한다. SC합금이 값비싼 레늄을 함유하기 때문에 많은 단가절약이 일어나는 반편, 다결정체 합금은 이러한 원소를 함유하지 않는다. 더욱이 얇은 다결정체 표피를 SC 중앙 블레이드 섹션에 결합하는 것은 향상된 엔진효율을 위해 얇은벽으로된 구조를 가능하게 할 수 있다.

단결정과 다결정체인 니켈계 초합금의 선택된 세트는 각각 다른 것을 사용하는 포일 또는 페이스트 접합

매체와 그리고 개개의 합금을 그 자신에 접합하는데 사용되는 초합금으로부터 적용되는 열사이클에 결합될 수 있다. 결합되어질 수 있는 합금은 단결정과 다결정체인 합금이 이 두합금에 γ와 γ'상의 화학성분과 γ'의 유사한 양을 유도하는 충분히 유사한 성분들을 나타내는 합금이다. 합금의 접합은 바람직하게 용융점 억제제로서 붕소를 사용하고 기본합금성분을 맞추기 위해 원소를 합금하는 포일을 조정하는 전이액상 접합 등에 의해 수행된다. 접합열 사이클은, 그들 자신에 기본재료를 접합하는 전이액상을 위한 접합열 사이클과 유사하다. 이것은 접합포일과 단결정과 다결정체인 재료의 국부화된 구역을 용융하는데 적합한 온도에서 일어난다. 열사이클은 충분한 기간으로 이루어져 있어서, 고체화 후에 고체상태 붕소확산이 재료가 노출되도록 기대되는 온도이상으로 국부재료 용융온도를 올리기에 충분하게 하는 것을 확보한다.

전이액상 접합을 효과적으로 하게 하도록 화학성질에 충분히 인접하게 간주될 수 있는 합금은 CMSX-4와 CM247; CMSX-4와 CM186; PWA1480과 MarM247; 그리고 SC16과 IN738을 포함한다. 이들 합금은 캐스팅시 카바이드 석출후에 잔여하는 γ/γ' 메트릭스의 화학성분과 단결정체인 재료를 위해 유사한 화학성질들을 효과적으로 포함한다. 또한, 합금의 쌍은 전이액상 접합이 불충분하여 해로운 석출물 예컨대, 과잉 레늄, 크롬 등과 함께 형성될 수 있는 안정성을 해롭게 하는 지형상으로 인접하게 채워진(TCP)상의 형성을 야기시키는데 불충준하도록 선택된다. 이들 합금의 쌍은 화학성질을 매우 잘 맞추도록 제공되어 접합구역을 가로질러 우수한 특성을 제공한다. 잘 맞추어지지 않은 재료를 사용하는 것은 접합구역에서의 해로운 상과, 특성에서의 부수적인 감소를 발생시킬 수 있다. 그러나 이러한 것은 강도 요건이 너무 높지 않고 면부식 저항 같은 다른 특성들이 요구된다면 받아들일 수 있다. 선택된 합금 쌍의 화학성질은 이들 구속에 순응하기 위해 제어된다.

접합매체는 단결정접합에 종래적으로 사용되는 것들 일 수 있다. CMSX-4를 CM247에 접합하는 경우를 위해, 용융점 억제제로서 1.3 무게 퍼센트 붕소를 포함하는 니켈플렉스 110은 단결정 합금을 위해 추천되는 접합온도인 2,250。F에서 접합될 수 있다. CMSX-4와 CM247를 위한 접합온도에서의 차이는 약 50。F이고 붕소의 추가에 의해 초래된 용융점 하강은 무게 퍼센트 붕소마다 약 100。F이다. 따라서, 단결정과 다결정체인 재료를 위한 접합점이 충분하게 근접 하다면, 이 접합점은 보다 높은 단결정 재료 용융점을 위해 접합프로세스를 이용함으로써 전체적으로 조절될 수 있다. 조작상의 효과를 고려하도록 프로세스 파라미터를 넓히는 것은 포일에 있는 붕소의 양을 증가시키고 접합온도를 단결정체인 재료의 양에 보다 인접하도록 조정함으로써 달성될 수 있다.

접합 포일 화학성질은 상술된 성분적인 요건 즉, 기본 금속, 감소된 알루미늄, 전혀 없는 티타늄에 유사한 것에 의해 구속될 수 있다. 이러한 유사함에 대한 한 예외는 다결정체인 합금에서 레늄같은 값비싼 원소를 포함하는 것을 필요로 하는 것이다. 이러한 것은 다결정 합금이 좀처럼 레늄을 포함하지 않고 제 3 세대 단결정이 보다 위의 고온강도를 위해 레늄 첨가물에 의존하기 때문에 상업적인 요건이 된다. 두 재료를 결합하는 장점은 구조의 실질적인 부분으로부터 레늄의 단가를 줄이는 것이다. 레늄은 매트릭스로 편석하고 서서히 분산함으로써 γ'을 안정시키기 때문에, 접합조인트로부터 레늄의 제거는 특성을 손상시키지 않을 것이다.

전이액상접합과 같은 고 품질의 접합 프로세스를 사용하는 목적은 통상 금속부분의 벌크에 있는 접합구역내의 본질상으로 동일한 화학적 성질 및 미세구조를 만드는 것이다. 이것은 일반적으로, 용해 및 재응고 도중에 발생할 바람직한 편석을 고려하면서, 접합포일의 화학적 성질을 기본 금속의 화학적 성질에 일치시키므로써 성취된다. 그러나, 티탄 및 알루미늄과 같은 원소들은 이러한 원소들이 기본 금속으로부터 용해될 것이고 응고 후에 접합라인의 중심으로 편석하는 경향이 있을 것이 때문에 기본 금속에 비해 접합포일 내에서 감소되어야만 한다. 다결정 및 단결정 합금은 다른 화학적 조성물(표 1을 참고)을 가지고 있기 때문에 단결정-대-다결정 접합조인트의 각 측에 대해 접합포일 조성물의 동일한 일치성은 가능하기 않을 수 있다. 그러나, 몇 개의 합금세트는 매우 유사한 조성물 및 감마 프라임의 부피율을 보이기 때문에, 접합될 유사한 조성물의 다결정 및 단결정 합금을 선택하고, 그리고 각 합금 양자를 접합하기 위해 사용된 접합포일을 가지고서 그것들의 조성물을 일치시키는 것이 가능하다.

표 4는 몇 개의 단결정 및 다결정 합금의 조성물을 보여준다. 이 표로부터 단결정 합금의 몇 개의 세트는 몇몇의 다결정 합금, 예를 들면 CMSX-4 및 CM186, PWA1480 및 MarM247, SC-16 및 IN738과 조성적으로 유사하다는 것이 관찰될 수 있다. 사실상, CMSX-4 및 CM274는 전이액상접합 프로세스를 사용하여 양호한 접합의 생성을 허용하기 위해 화학적 성질 및 구조에 있어서 충분히 유사하다. 이것은 이러한 합금들에 있어서 유효한 차이가 고체 및 액체 상태에서 쉽게 용해되지 않는, 례늄함유량 때문이다. 더욱이, 접합구역을 가로지르는 레늄의 변화도는 접합조인트의 성능에 유해하지 않는 구조 및 특성에 있어서의 점진적인 변이를 제공한다. 레늄 가격이 비싸기 때문에 단결정을 포함하는 레늄을 다결정체인 합금을 포함하는 비 레늄에 결합시키는 것이 바람직하다.

표 5는 단결정 및 다결정 합금의 세트를 접합하도록 적용될 수 있는 전형적인 접합합금을 보여준다. 알루미늄-다량함유 단결정의 적절한 합금 일치성은 니켈-플렉스 타입의 합금을 사용하여 접합함으로써 얻을 수 있다. 이러한 포일들은 또한 이 타입(예를 들면, CM247, MarM247 및 MarM002)의 다결정합금을 접합하도록 사용될 수 있다. 그러므로, 이러한 접합포일들은 다결정 합금, 예를 들면 CM247류에 유사한 CMSX-4 타입 단결정 합금을 접합하도록 사용될 수 있다. 반대로, 크롬을 다량 함유하고 있는 재료, 예를 들면 단결정 SC-16을 IN738 다결정 합금에로 접합하기 위해, MFB80/80A 같은 포일이 바람직할 수 있다.

[표 4]

단결정 및 다결정 터빈블레이드 합금 (무게 퍼센트)

합금	니켈	크롬	코발트	알루미늄	티탄	니오브	몰리브덴	탄탈	텅스텐	레늄	하프늄	지르코늄	붕소	탄소	부피 % γ'
CMSX-4	나머지	6.6	9.6	5.5	1.0	---	0.6	6.5	6.4	3	0.9	---	---	---	62
PWA1484	나머지	5	10	5.6	1	---	---	8.7	6	3	0.1	---	---	---	64
PWA1480	나머지	10	5	5	1.5	---	---	12	4	---	---	---	---	---	63
SC-16	나머지	16	---	3.5	3.5	---	3	3.5	---	---	---	---	---	---	41
CMSX-11	나머지	12.5	7	3.4	4.2	0.1	0.5	5	5	---	0.04	---	---	---	~45
CM247	나머지	8.1	9.2	5.6	0.7	---	0.5	3.2	9.5	---	1.4	0.015	0.015	0.07	62
MarM002	나머지	9	10	4.7	1.7	1	---	---	12.5	---	---	---	---	---	57
MarM002	나머지	9	10	5	2	1	---	---	12.5	---	1.8	0.06	0.02	0.14	58
MarM246	나머지	9	10	5.5	1.5	---	2.5	1.5	10	---	---	0.06	0.015	0.15	65
CM186	나머지	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
IN792	나머지	12.4	9	4.5	4.5	---	1.8	3.9	3.9	---	1	0.02	0.015	0.08	45
IN738	나머지	16	8.5	3.4	3.4	0.9	1.75	1.75	2.6	---	---	0.1	0.01	0.11	37

[표 5]

접합포일의 화학적 성질 (무게 퍼센트)

포일 타입	니켈	크롬	코발트	텅스텐	탄탈	몰리브덴	철	하프늄	알루미늄	티탄	붕소	탄소	규소
니켈-플렉스 110 (1.3 붕소)	나머지	10.0	5.0	4.0	4.0	---	---	---	2.0	---	1.3	---	---
니켈-플렉스 110 (1.7 붕소)	나머지	10.0	5.0	4.0	4.0	---	---	---	2.0	---	1.7	---	---
니켈-플렉스 110 (2.5 붕소)	나머지	10.0	5.0	4.0	4.0	---	---	---	2.0	---	2.5	---	---
니켈-플렉스 115 (3.0 붕소)	나머지	9.0	8.0	4.0	4.0	---	---	1.0	2.0	---	3.0	---	---
니켈-플렉스 120 (1.7 붕소)	나머지	10.0	5.0	5.0	3.0	---	---	---	---	1.0	1.5	---	---
니켈-플렉스 120 (1.9 붕소)	나머지	10.0	5.0	5.0	3.0	---	---	---	---	1.0	1.7	---	---
니켈-플렉스 121 (2.4 붕소)	나머지	10.0	10.0	5.0	---	---	---	---	---	---	2.4	---	---
니켈-플렉스 121 (3.0 붕소)	나머지	10.0	10.0	5.0	---	---	---	---	---	---	3.0	---	---
MBF20/20A	나머지	7.0	---	---	---	---	3.0	---	---	---	3.2	0.06	4.5
MBF80/80A	나머지	15.2	---	---	---	---	---	---	---	---	4.0	0.06	---

단결정 합금을 다결정 합금에 접합하는 실예로서, 단결정 CMSX-4가 다결정 CM247 합금에 접합될 수 있다. 채용된 접합 프로세스는 : 0.05 미크론의 다듬질로 기계적으로 연마된 면; 니켈-플렉스110 1.3 붕소 포일; 2,250°F의 접합온도; 그리고 4시간의 접합시간으로 되어 있다.

도 19은 저 배율에서 접합라인의 구조를 도시하고 있다.

도 20은 단결정 CMSX-4와 다결정 CM247 사이의 접합에 대한 상응하는 화학적 성질의 변화를 도시하고 있다.

완전한 프로세스로서 블레이드 부분을 접합시키기 위해, 구성요소의 단결정 및 다결정 부분 양자에 대한 열처리 사이클을 통합하는 것이 바람직하다. 특히, 단결정 재료에 대하여 채용된 고 고용화열처리 온도에 저항하는 것이 통상적으로 주조된 다결정 재료에 대하여는 일반적으로 가능하지 않다. 표 6a-c는 단결정 및 다결정 합금, CMSX-4와 CM247에 대해 사용될 수 있는 전형적인 열처리 사이클을 예시하고 있고, 그리고 또한 완전한 단결정/다결정 블레이드의 접합을 위한 조합된 열처리 사이클이 2 개의 사이클로부터 유도되는 방법을 보여준다.

[표 6a]

CMSX4에 대한 접합 및 열처리

주물상태조건으로 2,250°F에서 접합	액상접합 및 2,250°F로부터 2,400°F 이상까지 국소용융점을 높이는 붕소의 확산
2,410°F에서 6시간 고용화열처리	접합된 일체구조 및 화학적 성질을 균질화함
4시간동안 2,084°F에서 석출열처리	계속된 시효열처리로 0.5㎛까지 성장할 조악한 γ'의 초기 형성
24시간동안 1,600°F에서 시효열처리	조악한 γ'를 0.5㎛까지 성장시키고 미세한, 즉 200-500Å 크기의 2차적인 회전타원체형의 γ'를 석출시킴

[표 6b]

CM247에 대한 접합 및 열처리

4시간동안 2,150°F에서 접합	액상접합 및 2,150°F 이상으로 용융점을 높이는 붕소의 확산
4시간동안 2,150°F에서 고용화열처리	다결정 화학적 성질 및 γ상 구조를 부분적으로 균질화함
주의: 상기한 2단계는 동시에 일어날 수 있음	
4시간동안 1,950°F에서 석출열처리	계속된 시효열처리로 성장할 조악한 γ'의 초기형성
24시간동안 1,600°F에서 시효열처리	조악한 γ'를 최적의 크기(~0.5㎛)로 성장시키고 200-500Å 크기의 2차적인 회전타원체형의 γ'을 석출시킴. 또한 수지상 및 결정입계 탄화물을 석출시킴

[표 6c]

조합된 CMSX-4-CM247에 대한 접합 및 열처리

4시간동안 단지 2,250°F에서 SC부분을 접합	액상접합 및 2,410°F 이상으로 SC부분의 용융점을 높이는 붕소의 확산
4시간동안 단지 2,410°F에서 접합된 SC부분을 고용화열처리	SC 및 접합구역의 화학적 성질 및 구조를 균질화함
4시간동안 2,150°F에서 CC를 SC부분에 접합	액상접합 및 2,150°F 이상으로 CC의 용융점을 높이기 위해 접합구역속으로 붕소의 확산; 부분적으로 CC를 고용화함; SC내에 초기의 조악한 γ'의 석출
4시간동안 1,950°F에서 석출열처리*	SC부분내에 조악한 γ'를 성장시킴; CC구역내의 초기의 조악한 γ'의 석출
24시간동안 1,600°F에서시효열처리	SC 및 다결정부분에 있어서 조악한 γ'를 거의 최적의 크기로 성장시킴; 양 부분에 있어서 미세한 2차적인 회전타원형체의 γ'를 석출시킴; 또한 CC부분의 수지상/과립상의 탄화물을 석출시킴

* 코팅사이클을 조절하기 위해 상응하는 처리방법 실행에 의해 수정될 수 있음

조합된 사이클에 있어서, 단결정 편들은 주물상태 조건으로 접합되어 있다. 상기 접합된 단결정 편들은