



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0098632
(43) 공개일자 2012년09월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01B 11/06 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-7009905

(22) 출원일자(국제) 2010년06월21일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2012년04월18일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2010/058722

(87) 국제공개번호 WO 2011/047890

국제공개일자 2011년04월28일

(30) 우선권주장

09013170.7 2009년10월19일

유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인

지멘스 악티엔게젤샤프트

독일 뮌헨 80333 비텔스파허프라췌 2

(72) 발명자

멜처-요키쉬 토르스텐

독일 15366 노이엔하겐 바이 베를린 쥐드링 37

옵페르트 안드레아스

독일 14612 팔켄제 비젠벡 4체

토마이디스 디미트리오스

독일 14197 베를린 베르크하이머 슈트라췌 7

(74) 대리인

안국찬, 양영준

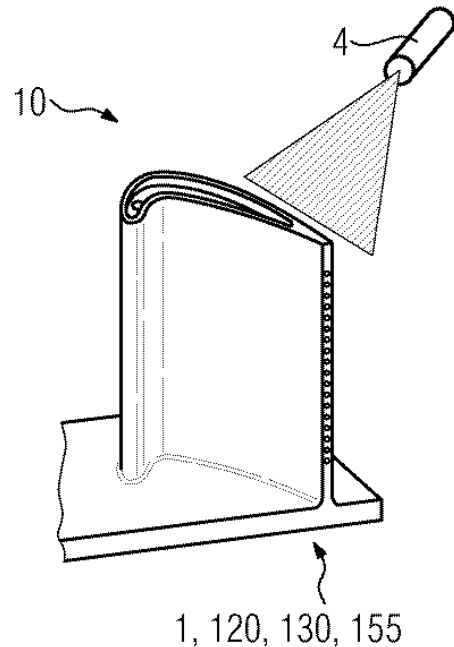
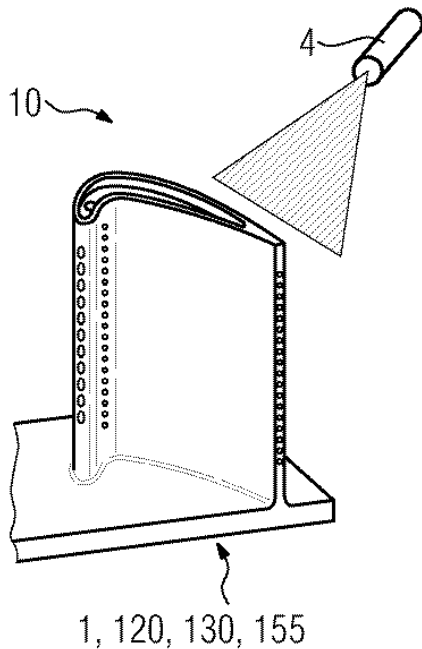
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 레이저 삼각 측정을 이용한 층 두께의 측정 방법 및 장치

(57) 요약

구조 부재를 코팅하기 이전과 코팅한 이후 레이저 삼각 측정을 실행함으로써 공정 모니터링은 자동화된다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

코팅할 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 층 두께를 측정하기 위한 방법에 있어서, 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)는 코팅 공정 이전(I) 및 코팅 공정 동안(II)에, 또는 코팅 공정 이후(III)에 레이저 삼각 측정에 의해 측정되고 층 두께는 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 여러 측정치(V)로부터 계산되며, 동시에 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 왜곡률이 고려되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 층 두께 측정은 국소적으로만, 특히 점 형태로만 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 코팅 공정 이후에 레이저 삼각 측정이 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 코팅 동안에 레이저 삼각 측정이 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 층 두께 측정은 복수의 위치(13', 13", ...)에서 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 6

제1항, 제3항 또는 제4항에 있어서, 상기 층 두께 측정은 광범위하게 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 층 두께 측정은 코팅 이전에만, 그리고 코팅 이후에만 실행되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 블레이드(120, 130)의 왜곡률을 측정하기 위해, 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155) 상에서 하나 이상의 기준점이 이용되는, 층 두께 측정 방법.

청구항 9

특히 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따르는 층 두께 측정 방법을 실행하기 위한 장치(10)에 있어서,

상기 장치는

구조 부재(1, 120, 130, 155)를 위한 고정구와,

구조 부재(1, 120, 130, 155)와,

레이저 삼각 측정을 위한 센서(4)와,

코팅(II) 이전에, 코팅 동안에, 또는 코팅 이후에 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 여러 측정치를 검출하여 상기 측정치들의 차이 계산(V)을 가능하게 함으로써 층 두께가 산출될 수 있게 하는 계산 유닛(IV)을 포함하고,

상기 고정구 또는 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)는 상기 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 왜곡률을 측정하기 위한 기준점을 보유하는, 상기 층 두께 측정 방법을 실행하기 위한 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 레이저 삼각 측정을 이용하여 층 두께를 측정하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 품질 평가를 위해, 그리고 차후 이용을 위해서, 코팅된 구조 부재는 모든 위치에서 요구되는 층 두께를 달성하는 것이 중요하다.

[0003] 이는 예컨대 와전류 측정 방법과 같은 지금까지의 측정 방법으로는 불가능하다.

[0004] 파괴 시험은 구조 부재의 차후 이용을 배제시키며, 그리고 파라미터 최적화를 위해서만 이용될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 그러므로 본 발명의 목적은 앞서 언급한 문제를 해결하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적은 청구항 제1항에 따른 방법과 청구항 제1항 또는 제9항에 따른 장치에 의해 달성된다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1 및 도 2는 본 발명에 따른 방법 및 장치의 진행 과정을 도시한 개략도이다.

도 3은 방법의 진행 과정을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 4는 층 두께 측정 위치를 도시한 단면도이다.

도 5는 가스 터빈을 도시한 도면이다.

도 6은 터빈 블레이드를 도시한 도면이다.

도 7은 연소실을 도시한 도면이다.

도 8은 조합금의 목록을 나타낸 도표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 도면들과 설명은 본 발명의 실시예들만을 나타낸다.

[0009] 도 1에는 예시로서 이용되는 구조 부재(1)로서 터빈 블레이드(120, 130)가 도시되어 있다. 터빈 블레이드(120, 130)는 새 구조 부재일 수 있거나, 또는 이미 이용되었고, 예컨대 층 제거 공정에 의한 벽 두께 감소부를 보유하는 (재연마로부터) 층 제거된 구조 부재(120, 130)일 수 있다.

[0010] 제1 단계에서 코팅 이전에 레이저 삼각 측정을 위한 센서(4)에 의해 블레이드(120, 130)는 층 두께의 검사가 의미가 있는 것으로 보이는 각각의 위치(13', 13'')(도 4)에서 측정된다(도 3의 I). 이는 하나 이상의 지점에서 국소적으로 이루어질 수 있거나, 또는 코팅할 표면 전체에 걸쳐 전역에서 이루어질 수 있다.

[0011] 그런 후에 터빈 블레이드(120, 130)가 코팅되고(도 3의 II), 터빈 블레이드(120, 130)는 다시 레이저 삼각 측정에 의해 측정된다(도 2 또는 도 3의 III).

[0012] 레이저 삼각 측정을 이용한 측정은 바람직하게는 코팅(II) 도중에도 이루어질 수 있다.

[0013] 이에 따라 코팅 이전과 코팅 이후에, 또는 코팅 중에 획득된 데이터들은 컴퓨터(도 3의 IV)에 의해 서로 비교되고 이에 따라 각각의 목표하는 위치(도 4)에서 층 두께가 산출될 수 있고 바람직하게는 설정 값과 비교될 수 있다.

[0014] 기하 구조 데이터들의 차이 계산을 통해 각각의 목표하는 위치(13', 13'')(도 4)에서 층 두께가 결정된다(도 3의 V).

- [0015] 층 두께는 금속 및 세라믹 층 용도로 형성될 수 있고 APS, VPS, PVP, CVD에 의해 결정될 수 있다.
- [0016] 바람직하게는 측정은 사전 및 사후에 동일한 고정구에서, 바람직하게는 구조 부재(120, 130)의 조립 및 분해 없이 실행된다.
- [0017] 바람직하게는 측정은 코팅 이전과 코팅 이후에만 실행되는데, 그 이유는 그럼으로써 기술적 구성이 다소 더욱 간단하기 때문이다.
- [0018] 바람직하게는 구조 부재가 광범위하게 스캐닝 되고, 터빈 블레이드(120, 130)의 경우는 터빈 베인 및 블레이드 플랫폼이 광범위하게 스캐닝 되는데, 그 이유는 특히 표면이 만족된 경우 다양한 층 두께가 설정되기 때문이다.
- [0019] 구조 부재(1, 120, 130, 155) 상에서, 특히 블레이드(120, 130)의 경우 기준점을 선택하는 것을 통해, 바람직하게는, 예컨대 [블레이드 기저부는 상당한 피상체(massive)이기 때문에] 블레이드 기저부 상에서, 또는 고정구 상에서처럼 왜곡되지 않은 위치의 지점을 선택하는 것을 통해, 구조 부재(1, 120, 130, 155)의 왜곡률(distortion), 특히 코팅 공정(열)에 의해 발생하는 구조 부재, 즉 블레이드 베인의 훨씬 더 얇은 부분의 왜곡률이 고려될 수 있고, 실질적인 층 두께가 산출될 수 있다.
- [0020] 상기 공정은 높은 자동화율을 나타내며 공정 적격성 평가 동안 이용될 수 있거나, 또는 공정 수반 측정으로서, 또는 품질 관리로서 이용될 수 있다.
- [0021] 코팅 공정은 일반적으로 이루어지는, 요컨대 터빈 블레이드의 블레이드 베인처럼 국소적으로 이루어지는 재료 증착을 의미하거나, 블레이드 베인 상의 국소적 코팅이나, 완전한 코팅 공정, 또는 용접 코팅 방법도 의미한다.
- [0022] 도 5에는 예시로서 가스 터빈(100)이 부분 종단면도로 도시되어 있다.
- [0023] 가스 터빈(100)은 내부에, 회전축(102)을 중심으로 회전 가능하게 장착되고 샤프트를 구비한 회전자(103)를 포함하며, 회전자는 또한 터빈 회전자로서도 지칭된다. 회전자(103)를 따라서 흡기 하우징(104)과, 압축기(105)와, 동축으로 배치되는 복수의 버너(107)를 구비하는 예컨대 원환체형인 연소실(110), 특히 환형 연소실과, 터빈(108)과, 배기 하우징(109)이 연속해서 배치된다. 환형 연소실(110)은 예컨대 환형인 고온 가스 채널(111)과 연통된다. 상기 고온 가스 채널에서는 예컨대 연속해서 연결되는 4개의 터빈 단(112)(turbine stage)이 터빈(108)을 형성한다. 각각의 터빈 단(112)은 예컨대 2개의 블레이드 링으로 형성된다. 작동 매체(113)의 흐름 방향에서 볼 때, 고온 가스 채널(111) 내에서는 가이드 블레이드 열(115) 다음에, 회전 블레이드들(120)로 형성된 열(125)이 배치된다.
- [0024] 이 경우, 가이드 블레이드들(130)은 고정자(143)의 내부 하우징(138)에 고정되며, 이에 반해서 열(125)의 회전 블레이드들(120)은 예컨대 터빈 디스크(133)에 의해 회전자(103)에 장착된다. 회전자(103)에는 발전기 또는 작업 기계(미도시)가 연결된다.
- [0025] 가스 터빈(100)의 작동 중에 압축기(105)에 의해서는 흡기 하우징(104)을 통해 공기(135)가 흡입되어 압축된다. 압축기(105)의 터빈 측 단부에서 공급되는 압축된 공기는 버너들(107)로 안내되고 버너들에서 연료와 혼합된다. 그런 다음 혼합기는 연소실(110) 내에서 작동 매체(113)를 형성하면서 연소된다. 작동 매체(113)는 연소실로부터 고온 가스 채널(111)을 따라서 가이드 블레이드들(130) 및 회전 블레이드들(120)을 통과하여 흐른다. 회전 블레이드들(120)에서는 작동 매체(113)가 펄스를 전달하는 방식으로 팽창되며, 그럼으로써 회전 블레이드들(120)은 회전자(103)를 구동하고 회전자는 자체에 연결된 작업 기계를 구동한다.
- [0026] 고온의 작동 매체(113)에 노출되는 구조 부재들은 가스 터빈(100)의 작동 중에 열적 부하를 받는다. 작동 매체(113)의 흐름 방향에서 볼 때 제1 터빈 단(112)의 가이드 블레이드들(130) 및 회전 블레이드들(120)은 환형 연소실(110)을 라이닝 하는 열차폐 부재들의 옆에서 열적 부하를 가장 많이 받는다. 이런 위치에서 존재하는 온도를 견디도록 하기 위해, 상기 블레이드들은 냉각제에 의해 냉각될 수 있다. 또한, 구조 부재의 기재들(substrates)은 방향성 구조를 포함할 수 있으며, 다시 말하면 기재들은 단결정성(SX 구조)이거나, 또는 종방향 입자(DS 구조)만을 포함한다. 구조 부재를 위한 재료로서, 특히 터빈 블레이드(120, 130)와, 연소실(110)의 구조 부재를 위한 재료로서는 예컨대 철 기반, 니켈 기반 또는 코발트 기반 초합금이 이용된다. 상기 초합금은 예컨대 EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 또는 WO 00/44949호로부터 공지되었다.
- [0027] 가이드 블레이드(130)는 터빈(108)의 내부 하우징(138)으로 향해 있는 가이드 블레이드 기저부(본원에서는 미

도시)와, 가이드 블레이드 기저부와 마주보고 위치하는 가이드 블레이드 두부를 포함한다. 가이드 블레이드 두부는 회전자(103)로 향해 있으면서 고정자(143)의 고정 링(140)에 고정된다.

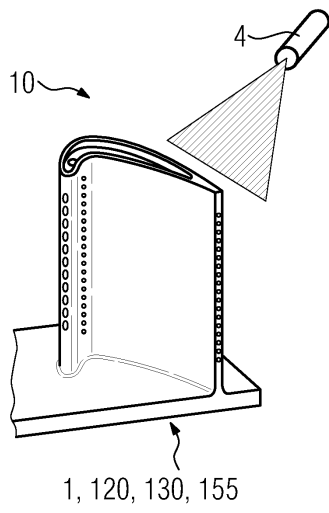
- [0028] 도 6에는 종축(121)을 따라 연장되는 터빈식 기관의 회전 블레이드(120) 또는 가이드 블레이드(130)가 사시도로 도시되어 있다.
- [0029] 터빈식 기관은 비행기 또는 전기 생성용 발전소의 가스 터빈, 증기 터빈 또는 압축기일 수 있다.
- [0030] 블레이드(120, 130)는 종축(121)을 따라 연속적으로 고정 영역(400)과, 이 고정 영역에 인접하는 블레이드 플랫폼(403)뿐 아니라, 블레이드 베인(406)과, 블레이드 첨단(415)을 포함한다. 가이드 블레이드(130)로서 블레이드(130)는 자체의 블레이드 첨단(415)에 추가의 플랫폼을 포함할 수 있다(미도시).
- [0031] 고정 영역(400)에는 샤프트 또는 디스크(미도시)에 회전 블레이드들(120, 130)을 고정하는 역할을 하는 블레이드 기저부(183)가 형성된다. 블레이드 기저부(183)는 예컨대 해머 헤드로서 구성된다. 전나무형 기저부나 제비 꼬리형 기저부로서 구성되는 또 다른 구현에도 가능하다. 블레이드(120, 130)는 블레이드 베인(406)을 통과하여 흐르는 매체를 위해 유입 에지(409) 및 유출 에지(412)를 포함한다.
- [0032] 통상적인 블레이드들(120, 130)의 경우 블레이드(120, 130)의 모든 영역(400, 403, 406)에서는 예컨대 피상의 금속 재료, 특히 초합금이 이용된다. 상기 초합금은 예컨대 EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 또는 WO 00/44949호로부터 공지되었다. 이 경우 블레이드(120, 130)는 주조 방법에 의해, 마찬가지로 방향성 응고를 이용한 주조 방법에 의해, 단조 방법에 의해, 밀링 방법에 의해, 또는 상기 방법들이 조합된 방법에 의해 제조될 수 있다.
- [0033] 단결정성 구조 또는 구조들을 보유하는 피가공체는 작동 시에 높은 기계적, 열적 및/또는 화학적 부하에 노출되는 기계를 위한 구조 부재로서 이용된다. 상기 유형의 단결정성 피가공체의 제조는 예컨대 용융물로부터 방향성 응고를 통해 이루어진다. 이는 액상 금속 합금이 단결정성 구조로, 다시 말하면 단결정성 피가공체로 응고되거나, 또는 방향성 응고되는 주조 방법이다.
- [0034] 이 경우, 수지상 결정(dendritic crystal)은 열 흐름을 따라 배향되면서 주상 결정 입자 구조(주상, 즉 피가공체의 길이 전체에 걸쳐서 연장되고, 본원에서는 일반적인 표현에 따라 방향성 응고되는 것으로 지칭되는 입자)를 형성하거나, 또는 단결정 구조를 형성하며, 다시 말하면 전체의 피가공체가 단일 결정으로 구성된다. 이런 방법에서는 구상형(다결정) 응고로의 전환을 피해야만 하는데, 그 이유는 비방향성 성장에 의해 필연적으로 횡방향 및 종방향 결정 경계가 형성되고, 이들 결정 경계는 방향성 응고되거나 단결정인 구조 부재의 양호한 특성을 무산시키기 때문이다. 만일 일반적으로 문제의 대상이 방향성 응고된 구조라면, 이는 입자 경계를 갖지 않거나, 최대 소각립계(small-angle grain boundary)를 갖는 단결정뿐 아니라, 사실 종방향으로 연장되는 입자 경계를 갖긴 하지만 횡방향 입자 경계를 포함하지 않는 주상 결정 구조를 의미한다. 또한, 두 번째로 언급한 상기 결정 구조의 경우를 흔히 방향성 응고 구조(directionally solidified structures)라고도 한다. 상기 방법은 US-PS 6,024,792호와 EP 0 892 090 A1호로부터 공지되었다. 상기 공보들은 응고 방법과 관련하여 공지 기술의 일부이다.
- [0035] 또한, 블레이드들(120, 130)은 부식이나 산화에 대항하는 코팅층, 예컨대 MCrAlX 층을 포함할 수 있으며, MCrAlX에서 M은 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni)의 그룹 중 하나 이상의 원소이고, X는 능동 원소이면서 이트륨(Y) 및/또는 규소 및/또는 희토류 중 하나 이상의 원소 또는 하프늄(Hf)을 나타낸다. 상기 합금은 EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 또는 EP 1 306 454 A1호로부터 공지되었다. 밀도는 바람직하게는 이론적인 밀도의 95%이다. (중간층으로서, 또는 최외부 층으로서의) MCrAlX 층 상에는 보호용 알루미늄 산화층(TGO = 열성장 산화층)이 형성된다.
- [0036] 바람직하게는 층 조성은 Co-30Ni-28Cr-8Al-0,6Y-0,7Si 또는 Co-28Ni-24Cr-10Al-0,6Y를 함유한다. 이와 같은 코발트 기반 보호 코팅층 외에도 바람직하게는 Ni-10Cr-12Al-0,6Y-3Re 또는 Ni-12Co-21Cr-11Al-0,4Y-2Re 또는 Ni-25Co-17Cr-10Al-0,4Y-1,5Re와 같은 니켈 기반 보호층도 이용된다.
- [0037] MCrAlX 상에는 단열층이 재차 제공될 수 있으며, 상기 단열층은 바람직하게는 최외부 층이고, 예컨대 ZrO₂, Y₂O₃-ZrO₂로 구성되며, 다시 말하면 상기 단열층은 산화 이트륨 및/또는 산화 칼슘 및/또는 산화 마그네슘에 의해 전혀 안정화되지 않거나, 부분적으로 또는 완전히 안정화된다. 단열층은 MCrAlX 층 전체를 덮는다. 예컨대 전자빔 증착(EB-PVD)과 같은 적합한 코팅 방법을 통해 단열층 내에 주상 입자들이 생성된다. 또 다른 코팅 방법, 예컨대 대기압 플라즈마 용사(APS), LPPS, VPS 또는 CVD도 생각해볼 수 있다. 단열층은 보다 나

은 내열충격성을 위한, 미세 균열 또는 거대 균열이 있는 다공성 입자들을 포함할 수 있다. 즉, 단열층은 바람직하게는 MCrAlX 층보다 더 다공성이다.

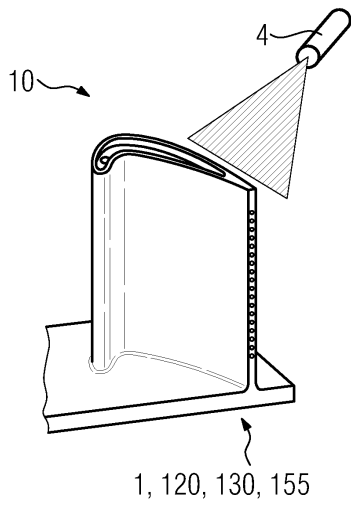
- [0038] 블레이드(120, 130)는 중공체 또는 괴상체로 형성될 수 있다. 블레이드(120, 130)가 냉각되어야 한다면, 블레이드는 중공체이고 경우에 따라 (파선으로 도시된) 막 냉각 구멍들(418)(film cooling hole)도 포함한다.
- [0039] 도 7에는 가스 터빈(100)의 연소실(110)이 도시되어 있다. 연소실(110)은 예컨대 이른바 환형 연소실로서 구성되며, 이런 환형 연소실의 경우 회전축(102)의 둘레에 원주 방향으로 배치되는 복수의 버너(107)가 공동의 연소실 공간(154) 내로 통해 있으면서 불꽃(156)을 생성한다. 이를 위해 연소실(110)은 그 전체가 회전축(102)을 중심으로 배치되는 환형 구조로서 구성된다.
- [0040] 비교적 높은 효율을 달성하기 위해 연소실(110)은 약 1000℃ 내지 1600℃의 작동 매체(M)의 비교적 높은 온도에 적합하게 설계된다. 또한, 작동 파라미터들이 재료에 대해 바람직하지 못한 경우에도 비교적 오랜 작동 시간을 가능하게 하기 위해, 연소실 벽부(153)는 작동 매체(M)로 향해 있는 자체의 측면에 열차폐 부재들(155)로 형성되는 내부 라이닝을 구비한다.
- [0041] 또한, 연소실(110)의 내부에서 발생하는 높은 온도를 바탕으로, 차폐 부재들(155) 또는 이들 차폐 부재의 고정 부재들을 위해 냉각 시스템이 제공될 수 있다. 이런 경우 열차폐 부재들(155)은 예컨대 중공체이고, 경우에 따라 연소실 공간(154) 내로 통해 있는 냉각 구멍들(미도시)도 포함한다.
- [0042] 합금으로 이루어진 각각의 열차폐 부재(155)는 작동 매체 측에 특히 내열성이 강한 보호층(MCrAlX 층 및/또는 세라믹 코팅층)을 보유하거나, 또는 내고온성 재료(괴상 세라믹 스톤)으로 제조된다. 상기 보호층들은 터빈 블레이드와 유사할 수 있으며, 다시 말해 예컨대 MCrAlX를 의미하며, MCrAlX에서 M은 철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni)의 그룹 중 하나 이상의 원소이고, X는 능동 원소이면서 이트륨(Y) 및/또는 구소 및/또는 희토류 중 하나 이상의 원소 또는 하프늄(Hf)을 나타낸다. 상기 합금은 EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 또는 EP 1 306 454 A1호로부터 공지되었다.
- [0043] MCrAlX 상에는 예컨대 세라믹 단열층이 제공될 수 있으며, 이런 단열층은 예컨대 ZrO_2 , Y_2O_3 - ZrO_2 로 구성되며, 다시 말해 상기 단열층은 산화 이트륨 및/또는 산화 칼슘 및/또는 산화 마그네슘에 의해 안정화되지 않거나, 부분적으로 또는 완전히 안정화된다. 예컨대 전자빔 증착(EB-PVD)과 같은 적합한 코팅 방법을 통해 단열층 내에는 주상 입자들이 생성된다.
- [0044] 또 다른 코팅 방법, 예컨대 대기압 플라즈마 용사(APS), LPPS, VPS 또는 CVD도 생각해볼 수 있다. 단열층은 보다 나은 내열충격성을 위한, 미세 균열 또는 거대 균열이 있는 다공성 입자들을 포함할 수 있다.
- [0045] 재처리(재연마)는, 터빈 블레이드(120, 130) 또는 차폐 부재(155)가 이용된 후에 경우에 따라 상기 터빈 블레이드 또는 차폐 부재에서 보호층들이 (예컨대 모래 분사를 통해) 제거되어야 하는 것을 의미한다. 그런 후에 부식 및/또는 산화 층 또는 그 생성물의 제거가 이루어진다. 또한, 경우에 따라 터빈 블레이드(120, 130) 또는 차폐 부재(155) 내 균열이 수리된다. 그런 후에 터빈 블레이드(120, 130) 또는 차폐 부재(155)가 재코팅되며, 그리고 터빈 블레이드(120, 130) 또는 차폐 부재(155)가 다시 이용된다.

도면

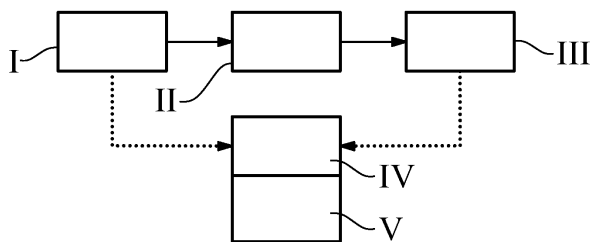
도면1



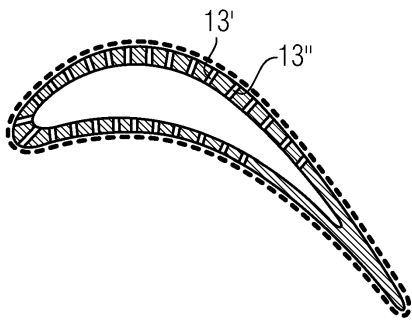
도면2



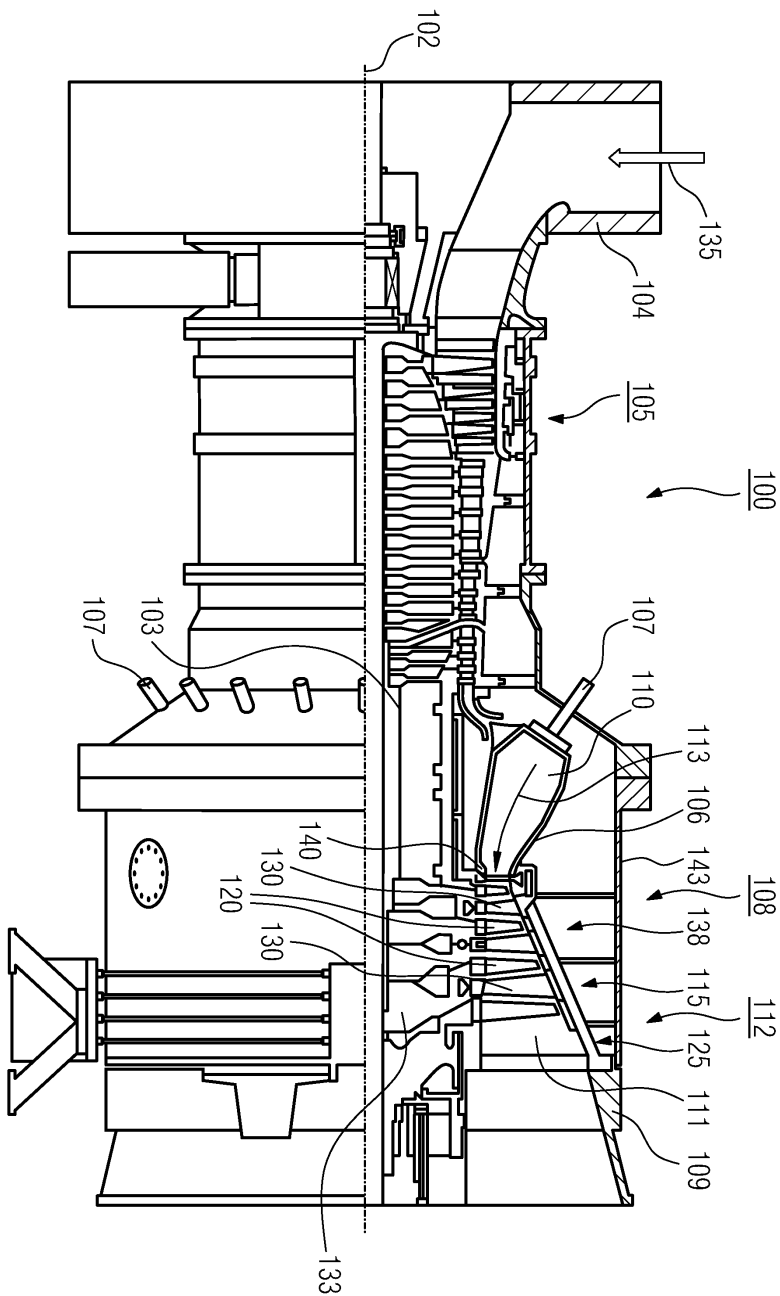
도면3



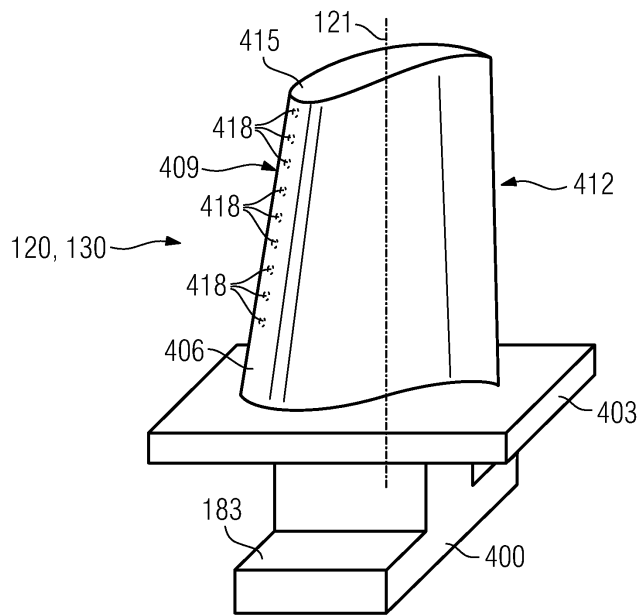
도면4



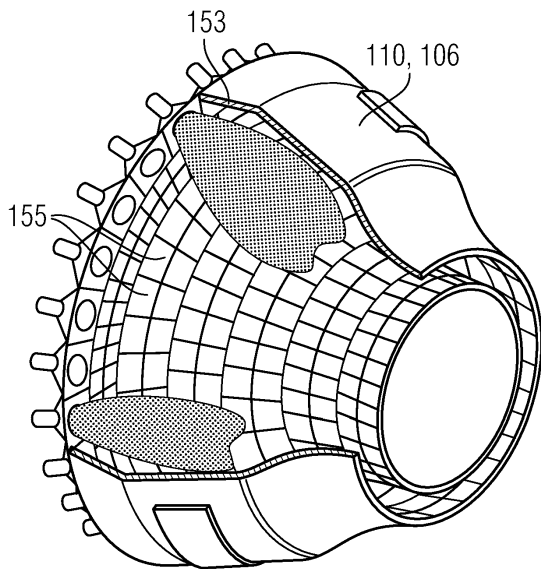
도면5



도면6



도면7



도면8

재료	화학 조성(%)													
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf	
Ni 기반 경질 구조 합금														
GTD 222	0.10	22.5	잔류물	19.0		2.0	1.0		1.2	2.3	0.008			
IN 939	0.15	22.4	잔류물	19.0		2.0	1.4	1.0	1.9	3.7	0.009	0.10		
IN 6203 DS	0.15	22.0	잔류물	19.0		2.0	1.1	0.8	2.3	3.5	0.010	0.10	0.75	
Ultimet 500	0.10	18.0	잔류물	18.5	4.0				2.9	2.9	0.006	0.05		
IN 738 LC	0.10	16.0	잔류물	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	3.4	0.010	0.10		
SC 16	<0.01	16.0	잔류물		3.0		3.5		3.5	3.5	<0.005	<0.008		
Rene 80	0.17	14.0	잔류물	9.5	4.0	4.0			3.0	5.0	0.015	0.03		
GTD 111	0.10	14.0	잔류물	9.5	1.5	3.8	2.8		3.0	4.9	0.012	0.03		
GTD 111 DS														
IN 792 CC	0.08	12.5	잔류물	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02		
IN 792 DS	0.08	12.5	잔류물	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	1.00	
MAR M 002	0.15	9.0	잔류물	10.0		10.0	2.5		5.5	1.5	0.015	0.05	1.50	
MAR M 247 LC DS	0.07	8.1	잔류물	9.2	0.5	9.5	3.2		5.6	0.7	0.015	0.02	1.40	
CMSX-2	< .006	8.0	잔류물	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	< .003	< .0075		
CMSX-3	< .006	8.0	잔류물	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	< .003	< .0075	0.10	
CMSX-4		6.0	잔류물	10.0	0.6	6.0	6.0		5.6	1.0		Re=3.0	0.10	
CMSX-6	< .015	10.0	잔류물	5.0	3.0	< .10	2.0	< .10	4.9	4.8	< .003	< .0075	0.10	
PWA 1480 SX	< .006	10.0	잔류물	5.0		4.0	12.0		5.0	1.5	< .0075	< .0075		
PWA 1483 SX	0.07	12.2	잔류물	9.0	1.9	3.8	5.0		3.6	4.2	0.0001	0.002		
Co 기반 경질 구조 합금														
FSX 414	0.25	29.0	10	잔류물		7.5					0.010			
X 45	0.25	25.0	10	잔류물		8.0					0.010			
ECY 768	0.65	24.0	10	51.7		7.5	4.0		0.25	0.3	0.010	0.05		
MAR-M-509	0.65	24.5	11	잔류물		7.5	4			0.3	0.010	0.60		
CM 247	0.07	8.3	잔류물	10.0	0.5	9.5	3.2		5.5	0.7			1.5	