



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월23일
(11) 등록번호 10-2798732
(24) 등록일자 2025년04월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C23C 28/04 (2006.01) C23C 14/08 (2006.01)
C23C 14/30 (2006.01) C23C 28/00 (2006.01)
C23C 4/129 (2016.01) C23C 4/134 (2016.01)
C23C 4/137 (2016.01) F02C 7/24 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C23C 28/042 (2013.01)
C23C 14/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0173294

(22) 출원일자 2023년12월04일

심사청구일자 2023년12월04일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020230065725 A

KR1020190073906 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국중부발전(주)

충청남도 보령시 보령북로 160 (대천동, 한국중부발전(주))

주식회사 성일터빈

부산광역시 강서구 녹산산단289로 45 (송정동)

국립창원대학교 산학협력단

경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)

(72) 발명자

정윤상

충청남도 보령시 봉황로 69 한전아파트 106동 401호

김진수

충청남도 보령시 동현로 55 KOMIPO행복마루 103동 205호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

판현기, 임동우

전체 청구항 수 : 총 10 항

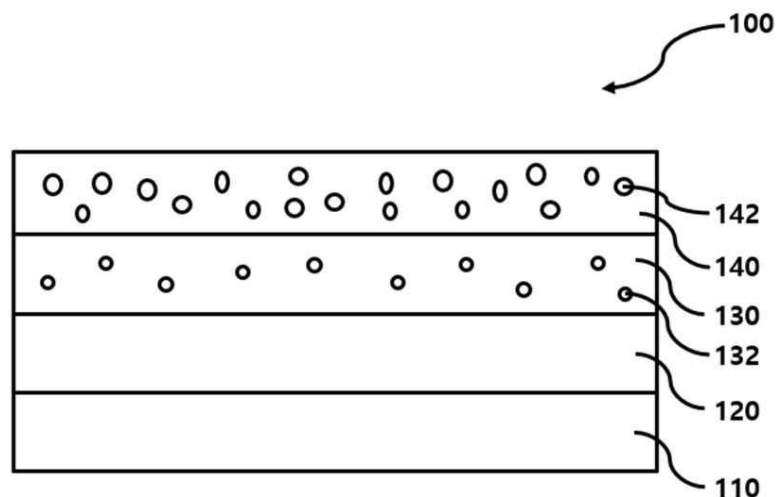
심사관 : 한석환

(54) 발명의 명칭 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은, 가스터빈 고온부품이 동작하는 고온에서의 침식이나 부식을 효과적으로 방지하여 수명을 연장시킬 수 있는 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체 및 그 제조방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체는, 금속 모재; 상기 금속 모재 상에 위치한 접합 코팅층; 상기 접합 코팅층 상에 위치하고, 제1 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층; 및 상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 위치하고, 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층;을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C23C 14/30 (2013.01)
C23C 28/321 (2013.01)
C23C 28/3455 (2013.01)
C23C 4/129 (2016.01)
C23C 4/134 (2016.01)
C23C 4/137 (2016.01)
F02C 7/24 (2013.01)

김봉구

경상남도 김해시 삼안로132번길 15-23 주원빌라 B
 동 201호

(72) 발명자

강경무

경상남도 김해시 진영읍 진산대로 59 중흥S클래스
 에코시티 106동 1801호

양병일

부산광역시 부산진구 초연로 11 연지자이2차아파트
 211동 1202호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711188045
과제번호	2021R1A4A1052059
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	차세대 가스터빈용 코팅 소재 및 공정 원천·핵심기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

니켈계(Ni) 합금, 및 코발트계(Co) 합금 중 적어도 어느 하나를 포함하는 금속 기재;

상기 금속 기재 상에 위치한 접합 코팅층;

상기 접합 코팅층 상에 위치하고, 제1 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층; 및

상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 위치하고, 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층;을 포함하고,

상기 제1 기공율은 2 부피% 내지 14 부피% 범위이고,

상기 제2 기공율은 15 부피% 내지 21 부피% 범위;이고,

상기 접합 코팅층은, 70 μm 내지 180 μm 범위의 두께를 가지고,

상기 치밀성 열차폐 코팅층의 두께는 100 ± 30 μm 범위이고,

상기 다공성 열차폐 코팅층의 두께는 500 ± 30 μm 범위이고,

상기 치밀성 열차폐 코팅층의 두께와 상기 다공성 열차폐 코팅층의 두께는 상보적 관계를 가지는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 치밀성 열차폐 코팅층은, Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 치밀성 열차폐 코팅층은, 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과

내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 치밀성 열차폐 코팅층은, 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.3 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 열차폐 코팅층은, Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 열차폐 코팅층은, 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 열차폐 코팅층은, 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 다공성 열차폐 코팅층은, 9 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 5.1 중량% 내지 6.1 중량%의 Yb_2O_3 , 4.7 중량% 내지 5.7 중량%의 Gd_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.02 중량%의 U 및 Th , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 접합 코팅층은, MCrAlY 합금 (여기에서, M = Ni, Ni-Co, Co-Ni), 실리콘 산화물, 티타늄 산화물, 지르코늄 산화물, 및 세륨 산화물 중 적어도 어느 하나를 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 접합 코팅층은, 실리콘(Si), 하프늄(Hf), 및 희토류 물질(Re) 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는,

가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 가스터빈에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 열차폐와 함께 부식이나 침식을 효과적으로 방지할 수 있는 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 국내 발전용 가스터빈의 고효율 및 친환경을 목적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 열효율의 향상은 고온부품의 가혹한 열부하의 증대를 강요하는 결과가 된다. 따라서, 가스터빈 고온부품에 사용되는 금속재료는 사용 환경에서 높은 기계적 특성을 가짐 과 동시에 우수한 내고온 산화성 및 내고온 부식성이 요구된다. 이러한 요구를 만족하기 위한 금속재료는 니켈(Ni), 구리(Cr), 크롬(Cr), 텅스텐(W), 탄탈(Ta), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al) 등을 포함하는 비철금속 원소를 주성분으로 하는 초내열 합금이 개발되어 왔다. 그러나, 고온 강도 향상에 도움이 되지 않는 크롬(Cr), 알루미늄(Al), 실리콘(Si) 등은 첨가가 억제되는 경향이 있다. 이를 감안하여 고온 환경에서 사용되는 초내열 합금에 크롬(Cr), 알루미늄(Al), 실리콘(Si) 등의 금속 혹은 합금을 확산 침투법이나 용사법을 사용한 코팅 방식을 이용하여 고온 환경에서의 손상을 방지하고 있다.

[0003] 최근에는, 내산화성 및 내열성을 가지는 산화물 또는 MCrAlY (여기에서 M은 코발트 또는 니켈임) 합금 기반 재료를 용사법으로 코팅하는 기술이 보급되었으며, 고온 화염에 노출되는 열차폐 코팅층은 MCrAlY 합금 위에 탑 코팅으로서 내열성이 우수함과 동시에 열전도율이 작은 이트리아 안정화 지르코니아(Yttria Stabilized Zirconia)를 사용하여 코팅하여 형성한다. 이러한 MCrAlY 합금과 이트리아 안정화 지르코니아로 조합과 관련된 상기 열차폐 코팅은 가스 터빈의 고온 부품에 적용하고 있다. 이때, 이트리아 안정화 지르코니아로 구성된 열차폐 코팅층은 사용 환경에 따라 부식 및 침식 환경에 노출되며, 이러한 환경에 따라 열차폐 코팅층이 박리되어 열차폐 성능이 상실되는 문제가 있다.

[0004] 또한, 발전용 가스터빈의 고효율화 및 고효율화를 위해 가스터빈의 입구 온도 및 연소실 내부의 연소온도가 상승되고 있다. 따라서, 가스터빈의 작동 온도는 점차 상승되는 추세이며, 이에 따라 1700℃급 가스터빈의 연구

개발이 진행되고 있다. 그러나, 온도 증가에 따른 부식이나 침식에 의한 열화가 문제된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1125329호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 가스터빈 고온부품이 동작하는 고온에서의 침식이나 부식을 효과적으로 방지하여 수명을 연장시킬 수 있는 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체 및 그 제조방법을 제공하는 것이다.

[0007] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체는, 금속 모재; 상기 금속 모재 상에 위치한 접합 코팅층; 상기 접합 코팅층 상에 위치하고, 제1 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층; 및 상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 위치하고, 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층;을 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제1 기공율은 2 부피% 내지 14 부피% 범위이고, 상기 제2 기공율은 15 부피% 내지 21 부피% 범위일 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은 15 μm 내지 45 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성하고, 상기 다공성 열차폐 코팅층은 45 μm 내지 145 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은 100 μm 내지 300 μm 범위의 두께를 가지고, 상기 다공성 열차폐 코팅층은 300 μm 내지 500 μm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층의 두께와 상기 다공성 열차폐 코팅층의 두께의 합은 400 μm 내지 800 μm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층의 두께와 상기 다공성 열차폐 코팅층의 두께는 상보적 관계를 가질 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은, Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은, 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은, 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.3 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 열차폐 코팅층은, Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

불순물을 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 열차폐 코팅층은, 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 열차폐 코팅층은, 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 다공성 열차폐 코팅층은, 9 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 5.1 중량% 내지 6.1 중량%의 Yb_2O_3 , 4.7 중량% 내지 5.7 중량%의 Gd_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.02 중량%의 U 및 Th, 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 금속 모재는, 니켈계(Ni) 합금, 및 코발트계(Co) 합금 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 접합 코팅층은, 70 μm 내지 180 μm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 접합 코팅층은, MCrAlY 합금 (여기에서, M = Ni, Ni-Co, Co-Ni), 실리콘 산화물, 티타늄 산화물, 지르코늄 산화물, 및 세륨 산화물 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 접합 코팅층은, 실리콘(Si), 하프늄(Hf), 및 희토류 물질(Re) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 제조 방법은, 금속 모재를 제공하는 단계; 상기 금속 모재 상에 접합 코팅층을 형성하는 단계; 상기 접합 코팅층 상에 제1 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층을 형성하는 단계; 및 상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층을 형성하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 접합 코팅층은 대기 플라즈마 용사법, 진공 플라즈마 용사법, 저압 플라즈마 용사법, 및 고속 화염 용사법 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성되고, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은 대기 플라즈마 용사법 및 서스펜션 플라즈마 용사법 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성되고, 상기 다공성 열차폐 코팅층은 대기 플라즈마 용사법, 서스펜션 플라즈마 용사법, 및 전자빔 물리기상증착법 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 치밀성 열차폐 코팅층은 15 μm 내지 45 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성하고, 상기 치밀성 열차폐 코팅층의 상기 제1 기공율은 2 부피% 내지 14 부피% 범위이고, 상기 다공성 열차폐 코팅층은 45 μm 내지 145 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성하고, 상기 다공성 열차폐 코팅층의 상기 제2 기공율은 15 부피% 내지 21 부피% 범위일 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 기술적 사상에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체는, 가스터빈 고온부품에 적용되는 열차폐 코팅의 부식 및 침식 특성을 향상시킬 수 있다. 구체적으로 금속재질의 모재 표면에 접합 코팅층을 형성하고, 상기 접합 코팅층의 상면에 낮은 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층과 높은 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층을 순차적으로 적층 형성함으로써, 내열성 및 내산화성 등을 개선시킴과 동시에 고온 및 고압의 가혹한 환경에서 모재의 부식 및 침식을 방지할 수 있고, 열차폐 코팅층이 가혹한 환경에서 마모, 균열, 박리되는 것을 방지할 수 있다. 결과적으로 가스터빈의 가혹한 환경에서 열차폐 코팅의 열적 안정성 및 내구성을 향상시켜 안정적인 가스터빈 가동이 가능하다는 등의 현저한 효과가 있다.

[0029] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 도시하는 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 제조방법을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 구성하는 층들의 미세조직을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.
- 도 4은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열 적 내구성 평가를 위한 노 순환 시험의 온도 사이클을 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열 적 내구성 평가를 위한 노 순환 시험으로 측정된 온도 사이클 횟수를 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가 후의 표면을 나타내는 사진이다.
- 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가에서 측정된 두께 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.
- [0032] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체(100)를 도시하는 단면도이다.
- [0033] 도 1을 참조하면, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체(100)는, 금속 모재(110), 접합 코팅층(120), 치밀성 열차폐 코팅층(130)(dense thermal barrier coating), 및 다공성 열차폐 코팅층(140)(porous thermal barrier coating)을 포함한다. 즉, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체(100)는 금속 모재(110) 상에 접합 코팅층(120), 치밀성 열차폐 코팅층(130), 및 다공성 열차폐 코팅층(140)이 순차적으로 적층된 적층 구조를 가진다.
- [0034] 금속 모재(110)는 가스터빈 고온부품의 외측 표면 또는 내측 표면을 구성하는 물질을 지칭할 수 있다. 금속 모재(110)는 초내열 합금을 포함할 수 있고, 예를 들어 니켈계(Ni) 합금, 및 코발트계(Co) 합금 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 그러나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되지 않으며, 다양한 내열금속 또는 내열금속 합금을 포함할 수 있다.
- [0035] 접합 코팅층(120)은 금속 모재(110) 상에 위치한다. 접합 코팅층(120)은 금속 모재(110)와 치밀성 열차폐 코팅층(130) 사이를 접합시키는 접합층 기능을 수행하고, 이와 함께 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 잔류응력을 최소화하고, 열팽창을 조정하며, 내피로성과 내충격성을 개선시킬 수 있다.
- [0036] 접합 코팅층(120)은, 예를 들어 70 μm 내지 180 μm 범위의 두께를 가질 수 있다. 접합 코팅층(120)의 두께가 70 μm 미만인 경우에는, 접합이 이루어지지 않을 수 있다. 접합 코팅층(120)의 두께가 180 μm 를 초과하는 경우에는, 제조 비용이 증가될 수 있고, 접합 코팅층이 제공하는 특성이 저하될 수 있다.
- [0037] 접합 코팅층(120)은 우수한 내산화성 및 내열성을 가지는 산화물, 예를 들어 실리콘 산화물, 티타늄 산화물, 지르코늄 산화물, 세륨 산화물 등을 포함할 수 있고, 또는 다양한 합금류를 포함할 수 있고, 예를 들어 니켈계 합금, 니켈-코발트계 합금, 코발트-니켈계 합금을 포함할 수 있고, 예를 들어 MCrAlY 합금 (여기에서, M = Ni, Ni-Co, Co-Ni)를 포함할 수 있다.
- [0038] 접합 코팅층(120)은 MCrAlY 합금과 함께 실리콘(Si), 하프늄(Hf), 및 희토류 물질(Re) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다. 상기 희토류(Re)는 란타넘족 15개 원소, 스칸듐(Sc), 및 이트륨(Y)을 포함할 수 있다.

- [0039] 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 접합 코팅층(120) 상에 위치한다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 복수의 제1 기공(132)을 구비할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 금속 모재(110)로 전달되는 열을 차폐하는 기능을 수행할 수 있고, 이와 함께 접합 코팅층(120)을 외부 환경으로부터 보호하여 부식 및 침식을 방지하는 기능을 수행할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 계면에서의 박리 파괴를 방지하거나 최소화하기 위하여 높은 밀도와 높은 인성을 가질 수 있다.
- [0040] 다공성 열차폐 코팅층(140)은 치밀성 열차폐 코팅층(130) 상에 위치한다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은 복수의 제2 기공(142)을 구비할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은 금속 모재(110)로 전달되는 열을 차폐하는 기능을 수행할 수 있고, 이와 함께 치밀성 열차폐 코팅층(130)을 외부 환경으로부터 보호하여 부식 및 침식을 방지하는 기능을 수행할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은 상대적으로 기공이 많으므로 응력 수용성을 증가시키고, 열전도도를 감소시킬 수 있고, 열차폐의 효율성을 증가시킬 수 있다.
- [0041] 또한, 치밀성 열차폐 코팅층(130)에 구비된 제1 기공(132)의 평균 부피는 다공성 열차폐 코팅층(140)에 구비된 제2 기공(142)에 비하여 작을 수 있다. 또한, 치밀성 열차폐 코팅층(130)에 구비된 제1 기공(132)의 밀도는 다공성 열차폐 코팅층(140)에 구비된 제2 기공(142)에 비하여 작을 수 있다. 이에 따라, 치밀성 열차폐 코팅층(130)과 다공성 열차폐 코팅층(140)이 상이한 기공율을 가질 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 기공율이 다공성 열차폐 코팅층(140)에 비하여 작을 수 있다. 이러한 상이한 기공율은 제조 시 사용되는 원료 분말의 입경으로 제어할 수 있다. 즉, 상대적으로 작은 평균 입경의 분말을 사용하면 상대적으로 작은 기공율을 얻을 수 있고, 이와 반대로 큰 평균 입경의 분말을 사용하면 상대적으로 큰 기공율을 얻을 수 있다.
- [0042] 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 상대적으로 평균 입경이 작은 분말을 이용하여 형성할 수 있고, 예를 들어 15 μm 내지 45 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 제1 기공율을 가질 수 있고, 예를 들어 2 부피% 내지 14 부피% 범위의 상기 제1 기공율을 가질 수 있다. 또한, 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 2 부피% 내지 13 부피% 범위의 상기 제1 기공율을 가질 수 있다. 또한, 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 6 부피% 내지 9 부피% 범위의 상기 제1 기공율을 가질 수 있다.
- [0043] 다공성 열차폐 코팅층(140)은 상대적으로 평균 입경이 큰 분말을 이용하여 형성할 수 있고, 예를 들어 45 μm 내지 145 μm 범위의 평균 입경을 가지는 분말을 이용하여 형성할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가질 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 15 부피% 내지 21 부피% 범위의 상기 제2 기공율을 가질 수 있다. 또한, 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 15 부피% 내지 17 부피% 범위의 상기 제2 기공율을 가질 수 있다. 또한, 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 18 부피% 내지 20 부피% 범위의 상기 제2 기공율을 가질 수 있다.
- [0044] 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 100 μm 내지 300 μm 범위의 두께를 가질 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께가 100 μm 미만인 경우에는, 열차폐 효과가 미미할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께가 300 μm 를 초과하는 경우에는, 제조 비용이 증가될 수 있고, 계면에서의 박리 현상이 발생할 수 있다.
- [0045] 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 300 μm 내지 500 μm 범위의 두께를 가질 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께가 300 μm 미만인 경우에는, 응력 수용성 및 열차폐 효과가 미미할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께가 500 μm 를 초과하는 경우에는, 제조 비용이 증가될 수 있고, 계면에서의 박리 현상이 발생할 수 있다.
- [0046] 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께와 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께의 합은, 예를 들어 400 μm 내지 800 μm 범위일 수 있고, 예를 들어 500 μm 내지 700 μm 범위일 수 있고, 예를 들어 약 600 μm 일 수 있다.
- [0047] 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께와 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께는 상보적(complementary) 관계를 가질 수 있다. 즉, 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께가 증가되면 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께가 감소될 수 있고, 이와 반대로 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께가 감소되면 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께가 증가될 수 있다. 예를 들어 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께와 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께의 합이 600 μm 인 경우에, 치밀성 열차폐 코팅층(130)의 두께가 각각 100 μm , 200 μm , 또는 300 μm 인 경우에 대하여, 다공성 열차폐 코팅층(140)의 두께는 각각 500 μm , 400 μm , 또는 300 μm 로 대응될 수 있다.
- [0048] 치밀성 열차폐 코팅층(130)과 다공성 열차폐 코팅층(140)은 동일한 물질을 포함하여 구성되거나 또는 서로 다른 물질을 포함하여 구성될 수 있다. 다만, 치밀성 열차폐 코팅층(130)과 다공성 열차폐 코팅층(140)이 동일한 물질로 구성되는 경우에도, 기공율을 다르게 하도록 평균 입경이 상이한 원료 분말을 이용하여 각각 형성할 수 있다.

- [0049] 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 세라믹 물질을 포함할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 지르코니아에 이트리아를 첨가하여 상온에서도 안정성을 유지하도록 제조된 세라믹 물질인 이트리아 안정화 지르코니아(Yttria Stabilized Zirconia, YSZ)를 포함할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다. 즉, 상기 ZrO_2 를 80 중량% 내지 95 중량% 포함할 수 있다. 상기 ZrO_2 는 열전도성이 낮으므로 열차폐성이 우수한 물질이며, 상기 Y_2O_3 등은 상기 ZrO_2 의 상변화를 억제시켜 안정화시키는 물질이다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은, 예를 들어 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.3 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.
- [0050] 다공성 열차폐 코팅층(140)은 세라믹 물질을 포함할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 이트리아 안정화 지르코니아를 포함할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 Y_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 , Gd_2O_3 , CaO , CeO_2 , 및 MgO 중 적어도 어느 하나를 5 중량% 내지 20 중량%로 포함하고, 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다. 즉, 상기 ZrO_2 를 80 중량% 내지 95 중량% 포함할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 5 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 1 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.5 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 7 중량% 내지 8 중량%의 Y_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 TiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.05 중량%의 Fe_2O_3 , 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(140)은, 예를 들어 9 중량% 내지 10 중량%의 Y_2O_3 , 5.1 중량% 내지 6.1 중량%의 Yb_2O_3 , 4.7 중량% 내지 5.7 중량%의 Gd_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 SiO_2 , 0 중량% 초과 내지 0.2 중량%의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 0.02 중량%의 U 및 Th, 및 잔부는 ZrO_2 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.
- [0051] 본 명세서에서 기타 불가피한 불순물은 제조 공정 중에 불가피하게 생성되는 불순물을 의미할 수 있고, 예를 들어 다양한 산화물들을 의미할 수 있다.
- [0052] 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체(100)는 금속 모재(110) 상에 치밀성 열차폐 코팅층(130) 및 다공성 열차폐 코팅층(140)을 순차적으로 형성함에 따라, 높은 상대적으로 높은 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층(140)이 효율적인 열차폐를 구현할 수 있고, 따라서, 열전달에 의한 금속 모재(110)의 고온화를 효과적으로 방지하며 가스터빈 고온부품의 내열성 및 내산화성 등을 개선시킬 수 있고, 수명을 연장시킬 수 있다. 다만, 다공성 열차폐 코팅층(140)이 상대적으로 높은 기공율을 가짐에 의하여 가혹한 환경에서 부식 및 침식이 발생할 수 있고, 박리될 수 있다. 이를 방지하기 위하여, 다공성 열차폐 코팅층(140)의 하층에 상대적으로 낮은 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층(130)을 형성함에 의하여 부식이나 침식을 방지할 수 있고, 따라서 열적 내구성 및 안정성을 증가시킬 수 있다.
- [0053] 상기 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체가 적용되는 가스터빈 고온부품은, 예를 들어 가스터빈 고온부품 블레이드(Blade) 및 베인(Vane) 등을 포함할 수 있다.
- [0054] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 제조방법에 관하여 설명한다.
- [0055] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 제조방법(S100)을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.
- [0056] 도 2를 참조하면, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 제조방법(S100)은, 금속 모재를 제공하는 단계(S110);

상기 금속 기재 상에 접합 코팅층을 형성하는 단계(S120); 상기 접합 코팅층 상에 제1 기공율을 가지는 치밀성 열차폐 코팅층을 형성하는 단계(S130); 및 상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 상기 제1 기공율에 비하여 큰 제2 기공율을 가지는 다공성 열차폐 코팅층을 형성하는 단계(S140);를 포함한다.

- [0057] 접합 코팅층(120)은 상술한 재료의 분말을 금속 기재(110) 상에 용사하여 형성될 수 있다. 접합 코팅층(120)은 대기 플라즈마 용사법(Air Plasma Spray, APS), 진공 플라즈마 용사법(Vacuum Plasma Spray, VPS), 저압 플라즈마 용사법(Low Pressure Plasma Spray), 및 고속 화염 용사법(High Velocity Oxygen Fuel, HVOF) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0058] 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 상술한 재료의 분말을 접합 코팅층(120) 상에 용사하여 형성될 수 있다. 치밀성 열차폐 코팅층(130)은 대기 플라즈마 용사법(Air Plasma Spray) 및 서스펜션 플라즈마 용사법(Suspension Plasma Spray, SPS) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0059] 다공성 열차폐 코팅층(140)은 상술한 재료의 분말을 치밀성 열차폐 코팅층(130) 상에 용사하여 형성될 수 있다. 다공성 열차폐 코팅층(130)은 대기 플라즈마 용사법, 서스펜션 플라즈마 용사법, 및 전자빔 물리기상증착법(Electron Beam Physical Vapor Deposition, EB-PVD) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0060] 여기에서, 치밀성 열차폐 코팅층(130) 및 다공성 열차폐 코팅층(140)이 서로 상이한 기공율을 가지도록 제조 공정 조건을 제어하여야 한다.
- [0061] 실험예
- [0062] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실험예를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다. 여기에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략하기로 한다.
- [0063] 금속 기재로서 직경이 25 mm, 두께 5 mm를 갖는 코인 형태의 니켈계 초내열 합금을 준비하였다. 상기 금속 기재의 표면 거칠기 형성을 위하여 블라스팅 공정을 수행하였다. 상기 블라스팅 공정 후, 상기 금속 기재의 표면의 유분이나 먼지를 제거하기 위하여 압축공기 및 부드러운 솔을 이용하여 상기 금속 기재의 표면의 이물질을 제거하였다. 이러한 이물질을 제거하지 않으면, 후속에 형성된 접합 코팅층이 상기 금속 기재로부터 박리되거나, 계면에서의 미세구조가 열화될 수 있다.
- [0064] 이어서, 상기 금속 기재 상에 접합 코팅층을 형성하였다. 상기 접합 코팅층은 니켈 금속 분말을 대기 플라즈마 용사법 및 초고속 화염 용사법을 이용하여 형성하였다. 상기 접합 코팅층의 두께는 약 100 μm 이었다.
- [0065] 상기 접합 코팅층 상에 치밀성 열차폐 코팅층을 형성하였다. 상기 치밀성 열차폐 코팅층은 표 1에 기재된 물질을 대기 플라즈마 용사법을 이용하여 형성하였다.
- [0066] 상기 치밀성 열차폐 코팅층 상에 다공성 열차폐 코팅층을 형성하였다. 상기 다공성 열차폐 코팅층은 표 1에 기재된 물질을 대기 플라즈마 용사법을 이용하여 형성하였다.
- [0067] 비교예로서, 상기 접합 코팅층 상에 다공성 열차폐 코팅층을 형성하였다. 이 경우에는, 치밀성 열차폐 코팅층을 형성하지 않았다.
- [0068] 상기 치밀성 열차폐 코팅층 및 상기 다공성 열차폐 코팅층은 상업적으로 이용가능한 분말로서, 하기의 표 1에 나타난 바와 같이, Metco 204AF, Metco 204-NS P, 및 Metco 206A를 사용하여 형성하였다.
- [0069] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 치밀성 열차폐 코팅층 및 다공성 열차폐 코팅층을 형성하도록 사용된 분말을 나타낸 표이다.

표 1

분류	치밀성 열차폐 코팅층	다공성 열차폐 코팅층
비교예	없음	Metco 204-NS P
실시예1	Metco 204AF	Metco 204-NS P
실시예2	Metco 204AF	Metco 204-NS P
실시예3	Metco 204AF	Metco 204-NS P
실시예4	Metco 204AF	Metco 206A
실시예5	Metco 204AF	Metco 206A
실시예6	Metco 204AF	Metco 206A

[0071] 표 2은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 치밀성 열차폐 코팅층 및 다공성 열차폐 코팅층을 형성하도록 사용된 분말의 조성 및 함량을 나타낸 표이다.

표 2

[0072]

함량(중량%)	Y ₂ O ₃		SiO ₂ (max)		TiO ₂ (max)		Al ₂ O ₃ (max)		Fe ₂ O ₃ (max)		기타 (max)	ZrO ₂	
Metco 204-NS P	7~8		0.05		0.05		0.05		0.05		0.5	잔부	
Metco 204AF	7~8		0.3		0.2		0.2		0.2		1.0	잔부	
함량(중량%)	Y ₂ O ₃		Yb ₂ O ₃		Gd ₂ O ₃		SiO ₂ (max)		Al ₂ O ₃ (max)		U & Th (max)	기타 (max)	ZrO ₂
Metco 206A	9~10		5.1~6.1		4.7~5.7		0.2		0.2		0.02	0.5	잔부

[0073] 표 3은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 치밀성 열차폐 코팅층 및 다공성 열차폐 코팅층을 형성하도록 사용된 분말의 크기를 나타낸 표이다.

표 3

함량(중량%)	명목 입자크기 (μ m)	D 90% (μ m)	D 50% (μ m)	D 10% (μ m)
Metco 204-NS P	45~145	107~120	68~77	39~49
Metco 204AF	15~45	36~45	20~30	10~20
Metco 206A	22~106	95~115	50~70	25~45

[0075] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 구성하는 층들의 미세조직을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

[0076] 도 3의 사진들로부터 각 층의 두께 및 기공율을 산출하여, 하기의 표 4에 정리하였다.

[0077] 표 4는 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 구성하는 층들의 목표 두께 및 목표 기공율을 나타낸 표이다.

[0078] 표 5는 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 구성하는 층들의 제조된 실제 두께 및 실제 기공율을 나타낸 표이다.

표 4

분류	접합 코팅층	치밀성 열차폐 코팅층		다공성 열차폐 코팅층	
	두께 (μ m)	두께 (μ m)	기공율 (부피%)	두께 (μ m)	기공율 (부피%)
비교예	100 $\pm$ 30	없음	없음	667	18~20
실시예1	100 $\pm$ 30	100 $\pm$ 30	6~9	500 $\pm$ 30	18~20
실시예2	100 $\pm$ 30	200 $\pm$ 30	6~9	400 $\pm$ 30	18~20
실시예3	100 $\pm$ 30	300 $\pm$ 30	6~9	300 $\pm$ 30	18~20
실시예4	100 $\pm$ 30	100 $\pm$ 30	6~9	500 $\pm$ 30	18~20
실시예5	100 $\pm$ 30	200 $\pm$ 30	6~9	400 $\pm$ 30	18~20
실시예6	100 $\pm$ 30	300 $\pm$ 30	6~9	300 $\pm$ 30	18~20

[0080] 표 5는 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체를 구성하는 층들의 제조된 실제 두께 및 실제 기공율을 나타낸 표이다.

표 5

분류	접합 코팅층 두께 (μm)	치밀성 열차폐 코팅층		다공성 열차폐 코팅층	
		두께 (μm)	제1 기공율 (부피%)	두께 (μm)	제2 기공율 (부피%)
비교예	154	없음	없음	667	16.3
실시예1	162	105	10.8	512	15.1
실시예2	161	221	10.2	458	16.7
실시예3	174	347	13.8	251	20.3
실시예4	161	118	12.1	538	16.7
실시예5	160	213	11.8	406	15.8
실시예6	167	313	11.7	288	16.6

표 4 및 표 5를 참조하면, 비교예의 경우에는 열차폐 코팅층에 대하여 두께와 기공율이 목표 수치에 비하여 실체가 더 크게 나타났다. 실시예들의 경우에는 치밀성 열차폐 코팅층 및 다공성 열차폐 코팅층의 두께가 대부분 오차 범위 내로 나타났다. 실시예들의 경우에는 치밀성 열차폐 코팅층의 기공율은 목표 수치에 비하여 크게 나타났다, 다공성 열차폐 코팅층의 기공율은 실시예3을 제외하고 목표 수치 범위인 18 부피% 내지 20 부피%에 비하여 낮게 나타났다.

이어서, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열적 내구성을 평가하였다. 상기 열적 내구성은 노 순환 시험(Furnace Cyclic Test, FCT)을 이용하여 수행하였다.

도 4은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열적 내구성 평가를 위한 노 순환 시험의 온도 사이클을 나타내는 그래프이다.

도 4를 참조하면, 상기 열차폐 구조체를 복수 회의 가열-냉각 사이클을 수행하였다. 1회의 가열-냉각 사이클은 20℃에서 1100℃로 15분 동안 가열하고 1100℃에서 25분간 유지하고, 다시 1100℃에서 20℃로 20분 동안 냉각하는 것으로 구성되었다. 이러한 가열-냉각 사이클을 열차폐 구조체의 수명을 나타내는 시점까지 반복하여 수행하였다.

표 6은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열적 내구성 평가를 위한 노 순환 시험 결과로서, FCT 수명에 대한 온도 사이클 횟수를 나타내는 표이다.

표 6

분류	평균	1	2	3	4
비교예	615	572	900	494	494
실시예1	946	1089	1089	907	697
실시예2	824	731	549	1137	878
실시예3	625	622	579	805	494
실시예4	296	276	731	89	89
실시예5	845	731	897	878	873
실시예6	702	731	572	752	752

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 열적 내구성 평가를 위한 노 순환 시험으로 측정한 온도 사이클 횟수를 나타내는 그래프이다.

도 5를 참조하면, 표 5의 결과가 도시되어 있다. 비교예와 비교하면, 실시예1, 실시예2, 실시예5, 및 실시예6은 온도 사이클 횟수가 많고, 실시예3은 거의 동일하고, 실시예4는 작았다. 따라서, 실시예1, 실시예2, 실시예5, 및 실시예6은 열적 내구성이 비교예에 비하여 우수한 것으로 평가된다.

이어서, 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성을 평가하였다. 상기 내부침식은 GE50A134를 이용하여 평가하였다.

표 7은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가를 위한 조건을 나타낸다.

표 7

항목	조건
실험 시편 크기	25.4 mm x 50.8 mm x 3.2 mm
실험 온도	상온 (20℃)
연마제	Al ₂ O ₃ , 50 μm (600g)
연마제 입자 속도	약 80 m/s
노즐 치수	내경 4.77 mm, 길이 95.2 mm
스탠드 오프 거리	100 mm
충돌 각도	20도
실험 시간	층의 두께의 25.4 μm 마모시까지
GE 침식 수	s/mil

상기 침식성 평가는 약 50 μm 입径의 알루미늄(Al₂O₃) 입자 600g을 100 mm 스탠드 오프 거리에서 20도의 각도로 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 표면에 충돌시킨다. 볼포인트 마이크로미터를 이용하여 가장 깊은 침식 지점을 측정하고, 하기의 식에 따라 GE 침식 수를 산출한다.

GE 침식 수 = 실험 시간(초)/[침식 깊이(인치)x1000] (s/mil)

상기 GE 침식 수는 층의 두께의 25.4 μm 침식까지 필요한 시간을 나타낸다. 상기 GE 침식 수가 클수록 내침식성이 우수함을 의미한다. 층의 경도와 GE 침식 수 사이의 상관 관계는 2 s/mil의 침식 한계가 연마제에 대한 하한 허용 한계이다. 예를 들어, HR15 Y 스케일에서 경도가 30 내지 40 인 경우는 GE 침식 수가 4가 된다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가 후의 표면을 나타내는 사진이다.

표 8은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가 결과를 나타내는 표이다. 표 8에서 단위는 모두 mm 이다.

표 8

항목	비교예	실시예1	실시예2	실시예3	실시예4	실시예5	실시예6
최고 두께	1190.3	1726	1665	1804	1512	1752	1594
최저 두께	464.3	1045	799	997	849	1020	842
두께 변화	726	678	866	807	663	732	752
외경	16.1	17.1	18.6	18.2	23.3	21.5	24
내경	-	-	15.4	14.3	18.0	16.2	16.1

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체의 침식성 평가에서 측정된 두께 변화를 나타내는 그래프이다.

표 8 및 도 7을 참조하면, 비교예에 비하여, 실시예1 및 실시예4가 두께 변화가 작게 나타났고, 따라서 우수한 내침식성을 가지는 것으로 평가된다. 반면, 실시예5 및 실시예7은 비교예와 거의 유사한 수준의 두께 변화를 나타내었고, 실시예2 및 실시예3은 비교예에 비하여 큰 두께 변화를 나타내었다. 이러한 결과는, 표 5에 나타난 바와 같이, 실시예1 및 실시예4의 다공성 열차폐 코팅층이 비교예에 비하여 낮은 기공율을 가지기 때문으로 분석된다.

이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

부호의 설명

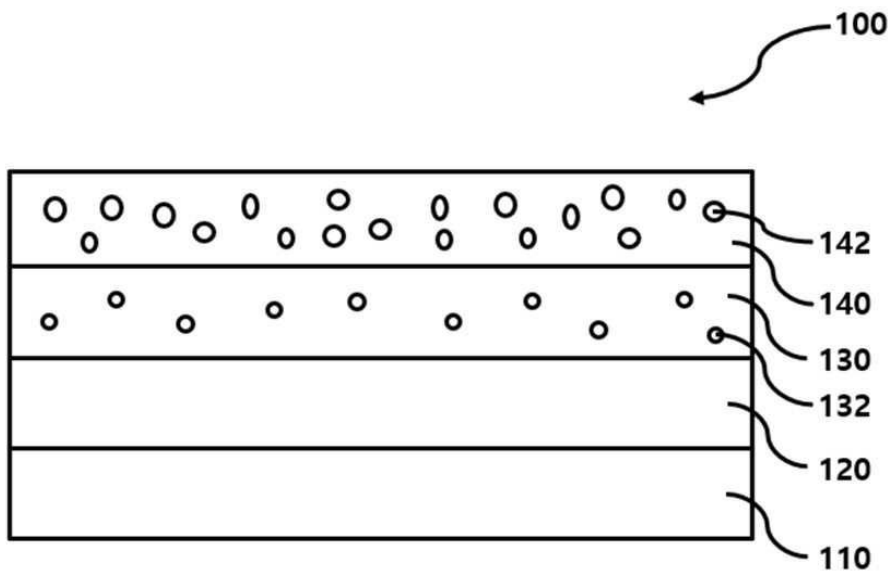
100: 가스터빈 고온부품용 열차폐 구조체

110: 금속 모재,

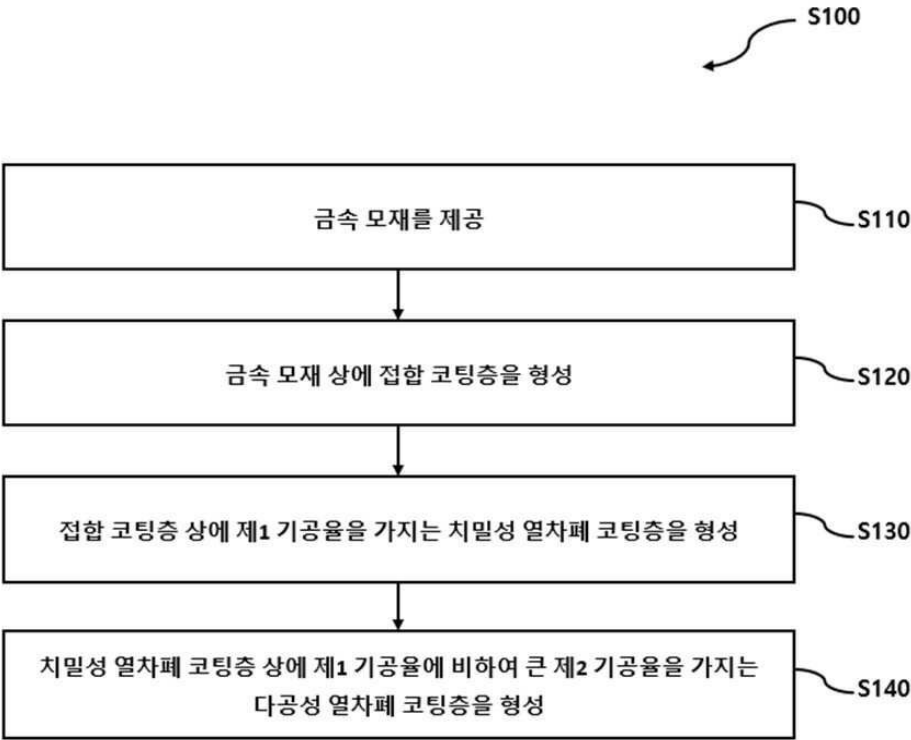
- 120: 접합 코팅층,
- 130: 치밀성 열차폐 코팅층,
- 132: 제1 기공,
- 140: 다공성 열차폐 코팅층,
- 142: 제2 기공,

도면

도면1



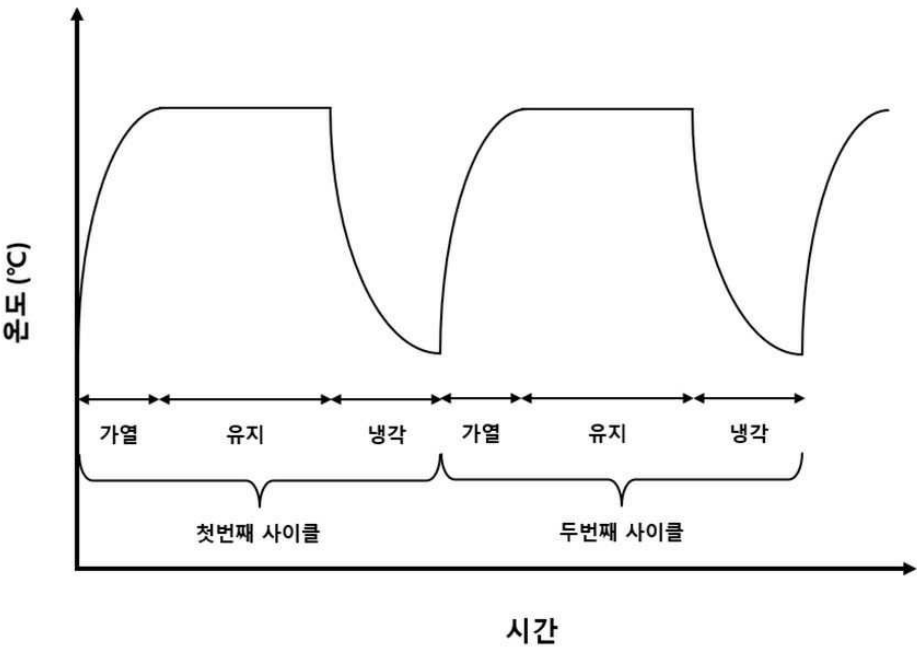
도면2



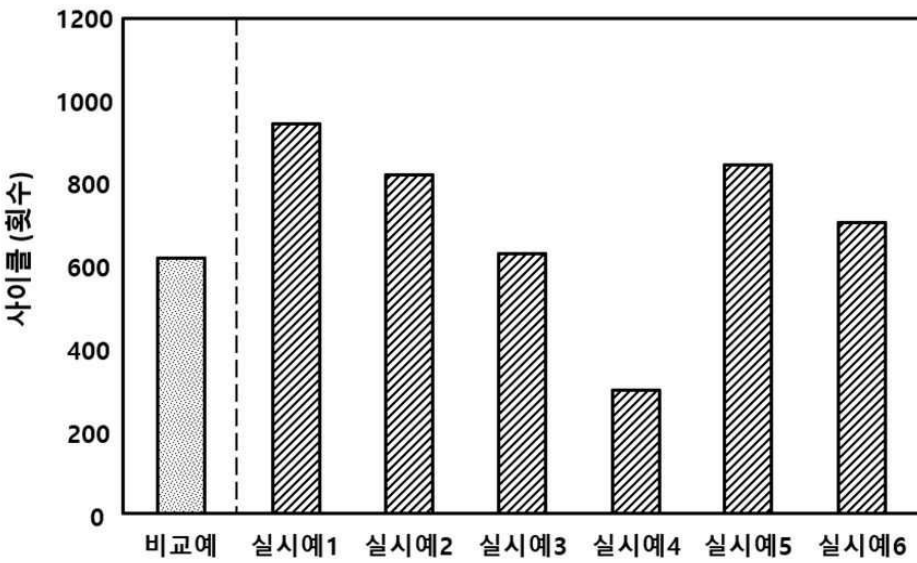
도면3

	x100 배율	다공성열차폐 코팅층	치밀성열차폐 코팅층	열차폐층과 접합층의 계면	접합 코팅층	접합코팅층과 기판의 계면
비교예						
실시예1						
실시예2						
실시예3						
실시예4						
실시예5						
실시예6						

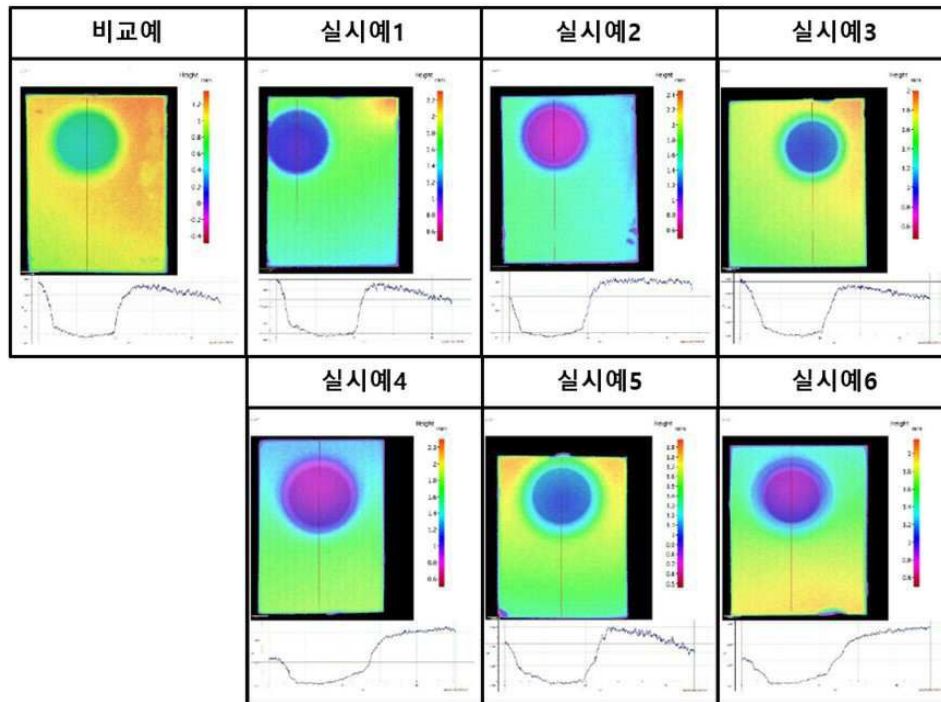
도면4



도면5



도면6



도면7

