

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0059556
(43) 공개일자 2023년05월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 19/05 (2006.01) C22F 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 19/055 (2013.01)
C22F 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0143862
(22) 출원일자 2021년10월26일
심사청구일자 2021년10월26일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
홍현욱
경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 213동
1202호(반림동, 트리비아아파트)
박지운
부산광역시 동래구 사직북로47번길 43, 803호(사
직동, 상우다솜아파트)
김동민
경상남도 김해시 월산로 26, 601동 502호(부곡동,
석봉마을6단지대동아파트)
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 크리프 특성 향상을 위한 니켈기 초내열합금 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금

(57) 요약

본 발명은 (a) 니켈기 초내열합금을 1150℃에서 30분 이상 유지하고 수냉하는 용체화 처리 단계, (b) 상기 니켈기 초내열합금을 1050~1100℃에서 30분 이상 유지하고 100℃/sec 이하의 냉각 속도로 공냉하는 안정화 열처리 단계, 및 (c) 상기 니켈기 초내열합금을 800℃에서 5시간 이상 유지하고 공냉하는 시효처리 단계를 포함하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415172993
과제번호	2021-0034
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발
연구과제명	750급 Ni 계 초내열합금 무게목 튜브 제조기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	(주)한스코
연구기간	2019.04.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113639
과제번호	2021-0103
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	선도연구센터(ERC) 메카트로닉스융합부품소재
연구과제명	메카트로닉스융합부품소재 연구센터
기 여 율	1/3
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2018.09.01 ~ 2021.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115494
과제번호	2021-0163
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	신진중견연계
연구과제명	3D 프린팅 맞춤형 초내열합금설계와 결정립계제어 패키지 기술개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 니켈기 초내열합금을 1150℃에서 30분 이상 유지하고 수냉하는 용체화 처리 단계;
 (b) 상기 니켈기 초내열합금을 1050~1100℃에서 30분 이상 유지하고 100℃/sec 이하의 냉각 속도로 공냉하는 안정화 열처리 단계; 및
 (c) 상기 니켈기 초내열합금을 800℃에서 5시간 이상 유지하고 공냉하는 시효처리 단계;
 를 포함하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 니켈기 초내열합금은,

23.5 ~ 25.5 중량%의 Cr; 15.0 ~ 22.0 중량%의 Co; 0.2 ~ 2.0 중량%의 Al; 0.5 ~ 2.5 중량%의 Ti; 0.5 ~ 2.5 중량%의 Nb; 0.005 ~ 0.08 중량%의 C; Ni 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 니켈기 초내열합금은,

3.0 중량% 이하의 Fe; 1.0 중량% 이하의 Mn; 2.0 중량% 이하의 Mo; 1.0 중량% 이하의 Si; 0.50 중량% 이하의 Cu; 0.03 중량% 이하의 P; 0.03 중량% 이하의 S; 및 0.006 중량% 이하의 B를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 니켈기 초내열합금은 인코넬 740H (Inconel alloy 740H)인 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따라 열처리된 니켈기 초내열합금.

청구항 6

제5항에 있어서,

열처리에 의해 입계에 석출된 니오븀 및 티타늄 부화(Nb, Ti-rich) MC 탄화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 니켈기 초내열합금, 더 자세하게는 Inconel 740H 합금의 고온 크리프 특성 향상을 위한 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금에 대한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 최근 차세대 스팀터빈 발전 시스템으로 각광 받고 있는 A-USC(Advanced Ultra Super Critical) 발전 플랜트는 에너지 효율 향상과 이산화탄소 저감을 위해 주증기 온도 700℃ 이상, 증기 압력 30MPa 이상의 압력을 요구한다.
- [0003] 따라서, 최고 650℃까지 적용될 수 있는 기존의 내열강 (페라이트계 및 오스테나이트계 합금)으로는 적용이 불가능하며, 유일하게 적용 가능한 합금은 내식성과 고온 기계적 특성이 우수한 니켈기 초내열합금이다.
- [0004] 니켈기 초내열합금 중 스팀 터빈의 보일러에 유일하게 적용될 수 있는 소재는 ASME(American Society of Mechanical Engineers) 규격에 등재된 Inconel 740H 합금이다. Inconel 740H는 통상 가스터빈의 소형 부품에 사용되도록 개발되어 적용되어 왔기 때문에, 대형 스팀 터빈용 보일러 증기관 등에 사용되기 위해서는 적정 열처리 방법의 개발이 필요하다.
- [0005] 특히, 대형 스팀 터빈은 20년 이상 장기적으로 가동이 되어, 미세조직 안정과 고온 크리프 특성이 매우 중요한데, 종래의 열처리 기술은 용체화 처리 후 수냉 과정에서 발생하며 크리프 특성에 악영향을 미칠 수 있는 내부 잔류 응력을 충분히 저감시키지 못하는 한계를 갖는다.
- [0006] 따라서, Inconel 740H 등의 대형 스팀 터빈용 니켈기 초내열합금의 미세조직 변화를 통해 크리프 특성을 향상시킬 수 있는 새로운 열처리 방법에 대한 확립이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국 공개특허 제10-2015-0017090호 (공개일: 2015.02.16)
(특허문헌 0002) 한국 공개특허 제10-2015-0116632호 (공개일: 2015.10.16)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 대형 부품으로 제작되는 니켈기 초내열합금의 미세조직 안정성을 확보하고 크리프 특성을 향상시키기 위한 열처리 방법으로서, 특히 스팀 터빈 보일러에 유일하게 적용되는 소재 Inconel 740H 합금에 최적화된 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 기술적 과제를 달성하기 위해, 본 발명은 (a) 니켈기 초내열합금을 1150℃에서 30분 이상 유지하고 수냉하는 용체화 처리 단계; (b) 상기 니켈기 초내열합금을 1050~1100℃에서 30분 이상 유지하고 100℃/sec 이하의 냉각 속도로 공냉하는 안정화 열처리 단계; 및 (c) 상기 니켈기 초내열합금을 800℃에서 5시간 이상 유지하고 공냉하는 시효처리 단계;를 포함하는 니켈기 초내열합금의 열처리 방법을 제안한다.
- [0010] 상기 본 발명에 따른 열처리 방법이 적용되는 니켈기 초내열합금은, 23.5 ~ 25.5 중량%의 Cr; 15.0 ~ 22.0 중량%의 Co; 0.2 ~ 2.0 중량%의 Al; 0.5 ~ 2.5 중량%의 Ti; 0.5 ~ 2.5 중량%의 Nb; 0.005 ~ 0.08 중량%의 C; Ni 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함해 이루어질 수 있다.
- [0011] 나아가, 상기 니켈기 초내열합금은 전술한 합금 원소 외에 3.0 중량% 이하의 Fe; 1.0 중량% 이하의 Mn; 2.0 중량% 이하의 Mo; 1.0 중량% 이하의 Si; 0.50 중량% 이하의 Cu; 0.03 중량% 이하의 P; 0.03 중량% 이하의 S; 및 0.006 중량% 이하의 B를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 특히, 본 발명에 따른 니켈기 초내열합금의 열처리 방법은 스팀 터빈 보일러용 무게목 튜브에 사용이 고려되는 Inconel 740H 초내열합금에 최적화된 열처리 방법으로서 상기 니켈기 초내열합금은 Inconel 740H로 이루어지는 것이 가장 바람직하다.
- [0013] 참고로, Inconel 740H는 750℃급 소재로 유일하게 ASME code 2702로 승인되어 보일러용 무게목 튜브에 적용할

수 있으며, 보일러의 Super heater/reheater 및 열교환기에 사용이 고려되는 최적의 후보 소재이다. Inconel 740H는 통상 가스터빈의 소형 부품에 사용되도록 개발되어 적용되어 왔기 때문에, 대형 스팀터빈용 보일러 증기관 등에 사용되기 위해서는 적정 열처리 방법 도출이 필요한데, 본 발명에 따른 열처리 방법은 이를 충족시킬 수 있다.

[0014] 본 발명에 따른 니켈기 초내열합금의 열처리 방법에 있어서, 상기 단계 (b)에서 이루어지는 안정화 열처리는, 용체화 처리시 수냉으로 발생하는 잔류응력을 저감시키고, 고온 장기 크리프 시 조대화가 쉽게 발생하고 때로는 유해상(σ)으로 변태 할 수 Cr-rich $M_{23}C_6$ 탄화물 석출 대신 고온 안정성이 우수한 미세 MC 탄화물을 석출시키고자 종래 기술과 차별화되는 본 발명의 핵심 구성으로 도입된 것이다.

[0015] 본 발명에 따른 니켈기 초내열합금의 열처리 방법은 상기 단계 (b)에서 특정 열처리 온도/시간 및 냉각 조건 하에서 안정화 열처리를 실시함으로써, 용체화 처리에 의해 야기된 내부 잔류 응력의 제거와 시효 처리에 따른 $M_{23}C_6$ 탄화물 석출을 최소화해 열처리된 니켈기 초내열합금의 미세조직 안정성을 크게 향상시키며, 크리프 특성을 현저히 개선할 수 있다.

[0016] 상기 안정화 열처리를 실시함에 있어서, 열처리 온도가 1050℃보다 낮으면 미세한 MC 탄화물이 결정립계에 석출되는 대신 유해상인 n 상이 석출할 수 있으므로 피해야 하며, 열처리 온도가 1100℃보다 높으면, 결정립이 크게 성장하여 피로 특성을 저해할 수 있다.

[0017] 또한, 내부 잔류 응력이 충분히 제거되면서, 결정립계에 미세한 MC 탄화물 석출을 유도하기 위해서는 적어도 30분 이상 안정화 열처리를 수행해야 하며, 이후 수냉 보다 냉각 속도가 느린 공냉조건 (100℃/sec 이하)에서 냉각해야 열응력을 최소화할 수 있다.

[0018] 그리고, 본 발명은 발명의 다른 측면에서 상기 니켈기 초내열합금의 열처리 방법에 따라 열처리된 니켈기 초내열합금을 제안한다.

[0019] 본 발명에 따른 니켈기 초내열합금 열처리 방법에 의해 얻어진 니켈기 초내열합금은 결정립계에 석출된 니오븀 및 티타늄 부화(Nb, Ti-rich) MC 탄화물을 포함하며 현저히 향상된 우수한 크리프 특성을 나타낸다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 니켈기 초내열합금 열처리 방법은, 특정 온도 범위에서 실시하는 안정화 열처리 단계를 포함함으로써 Inconel 740H 등의 니켈기 초내열합금의 입계에 니오븀 및 티타늄 부화(Nb, Ti-rich) MC 탄화물이 석출되며 우수한 크리프 특성을 나타내는 니켈기 초내열합금을 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에 따른 열처리 방법의 각 단계를 순차적으로 도시한 공정 흐름도이다.

도 2는 본 발명에 따라 열처리한 Inconel 740H 및 비교예에 따라 열처리한 Inconel 740H 각각의 입계 MC 탄화물 분율을 비교한 결과이다.

도 3은 본 발명에 따라 열처리한 Inconel 740H 및 비교예에 따라 열처리한 Inconel 740H 각각의 크리프 곡선을 비교한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0023] 본 발명의 개념에 따른 실시 예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서,

"포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

이하, 실시예를 들어 본 발명에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다.

본 명세서에 따른 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 명세서의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 명세서를 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

<실시예>

아래 표 1에 기재된 본원 실시예와 비교예 1 및 2 각각의 열처리 조건에 따라 Inconel 740H 시편을 열처리하였다.

<표 1>

구분	열처리 조건			결정립 크기	입계 MC 길이분율	크리프 수명 (750°C /270MPa)
	용체화 처리	안정화 처리	시효처리			
실시예	1150°C/30분 /수냉	1060°C/2시간 /공냉	800°C/16시간 /공냉	90~100 μ m	33%	1,773 hr
비교예 1	1150°C/30분 /수냉	-	800°C/16시간 /공냉	90~100 μ m	12%	1,546 hr
비교예 2	1150°C/30분 /수냉	-	650°C/16시간 + 800°C/16시간 /공냉	90~100 μ m	10%	1,057 hr

상기 표 1에 기재한 바와 같이, 본 발명의 실시예로서 용체화처리 (1150°C/30분/수냉) + 안정화 열처리 (1060°C/2시간/공냉) + 시효처리 (800°C/16시간/공냉)을 수행하였다.

그리고, 비교예 1로는 기존 열처리를 선택하였다. 즉, 용체화처리 (1150°C/30분/수냉) 및 시효처리 (800°C/16시간/공냉)를 순차적으로 실시하는 열처리를 수행하였다.

또한, 비교예 2는 석출 강화상인 γ' 분율을 증가시키고자 이중 시효처리를 실시하였다. 즉, 용체화처리 (1150°C/30분/수냉) 및 이중시효처리 (1단: 650°C/16시간 + 2단: 800°C/16시간/공냉)로 구성되는 열처리를 실시하였다.

상기 실시예와 비교예 1 및 2의 열처리 모두 결정립 크기 및 주 강화상 γ' 의 크기는 25~30nm 범위로 유사한 것으로 확인되었다.

반면, 결정립계에서 MC와 $M_{23}C_6$ 탄화물의 분율에서는 차이를 보이는 것을 확인하였다.

도 1은 전계방사형 전자탐침미세분석기를 통해 MC 탄화물의 분율을 관찰한 결과로서, 이로부터 본 발명의 열처리에 의해 MC 탄화물의 분율이 가장 높게 나타남을 확인하였다.

상기와 같은 실시예에 따른 합금 시편의 높은 MC 탄화물의 분율은 크리프 저항성을 높여 크리프 수명을 증가시킬 것으로 예상되었고, 750°C/270MPa 조건으로 크리프 시험을 진행하였다.

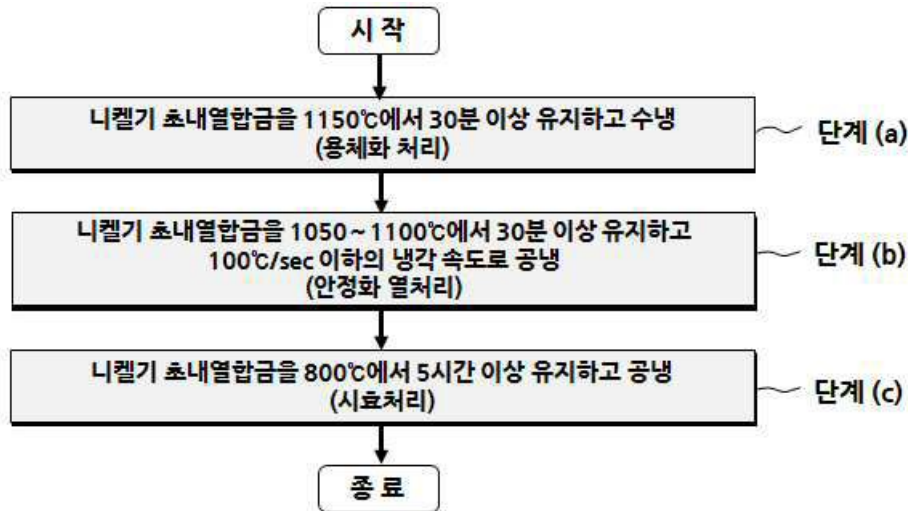
열처리별 크리프 결과에 대해 도시한 도 2로부터 본 발명의 열처리에 의한 시편의 크리프 수명이 가장 우수함을 확인할 수 있다.

이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수

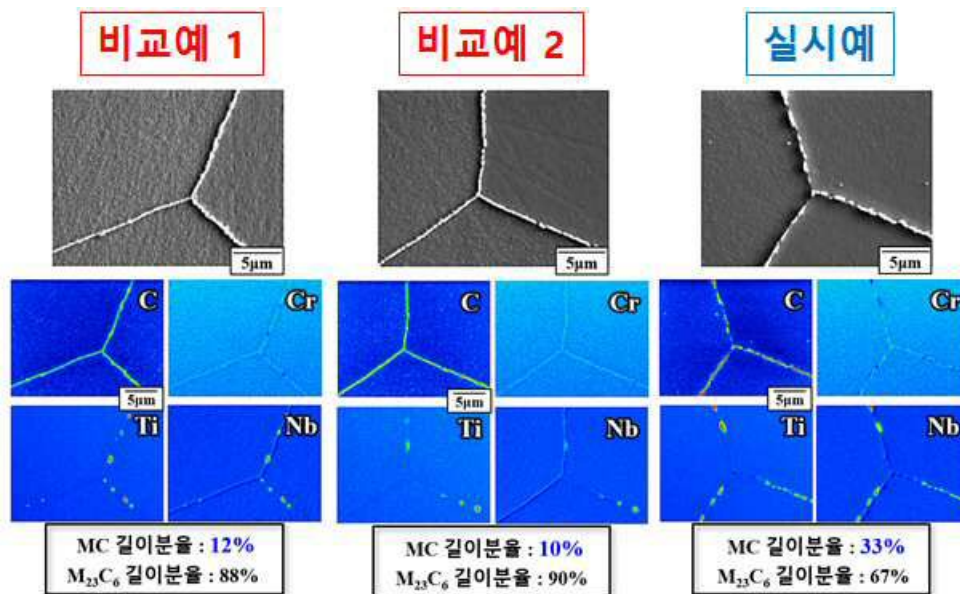
있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

도면1



도면2



도면3

