



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0103089
(43) 공개일자 2025년07월07일

(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 10-2023-0195423
(22) 출원일자 2023년12월28일
심사청구일자 2023년12월28일

(71) 출원인
국립창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)
(72) 발명자
홍현욱
경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 213동
1202호(반림동, 트리비아아파트)
양철혁
경상남도 김해시 삼계로 248, 216동 202호(삼계동, 분성마을2단지부영아파트)
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 결정립계 고온 균열 저항성이 우수한 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 초내열합금

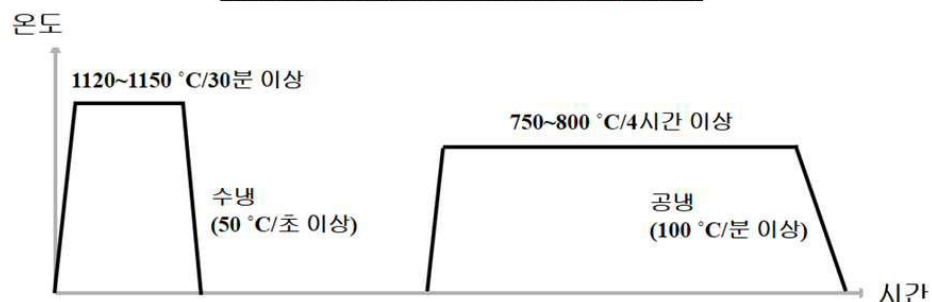
(57) 요약

본 발명은 Inconel 740H (Ni-24.5Cr-20Co-1.35Al-1.35Ti-1.5Nb-0.1Mo-0.03C) 등의 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금을 1180~1220℃에서 소정의 시간(10~30분) 동안 유지하는 용체화 처리 단계, γ' 강화상이 석출이 시작되는 온도보다 10~30℃ 낮은 중온영역(940~960℃)까지 1~3℃/분의 속도로 냉각시키는 1단계 서냉

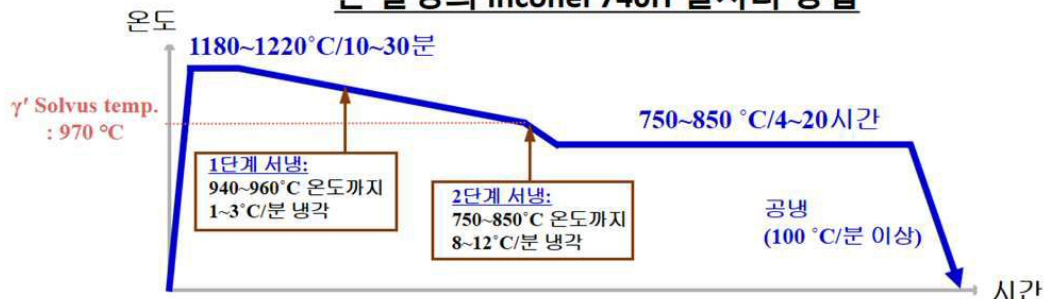
(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

통상의 Inconel 740H 열처리 방법



본 발명의 Inconel 740H 열처리 방법



단계, 시효처리 온도(750~850℃)까지 8~12℃/분의 속도로 냉각시키는 2단계 서냉 단계; 시효처리 온도(750~850℃)에서 소정의 시간(4~20시간) 동안 유지하는 시효처리 단계; 및 공냉(약 100℃/분)하는 단계를 포함하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법 및 그에 의해 열처리된 Ni-Cr-Co계 초내열합금에 대한 것으로서, 본 발명에 의하면 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금의 기본적인 기계적 특성은 그대로 유지한 채 결정립계의 형상을 파형모양으로 변화시켜서 계면에너지가 낮은 저밀도의 탄화물의 석출을 유도하고 결정립계와 기지와의 결합력을 높임으로써, 700℃ 이상의 고온에서 장시간 노출되는 환경에서도 크리프, 피로, 산화, 부식 등 입계균열 파손에 대하여 저항성을 크게 향상시킴과 동시에 시간과 비용을 절약할 수 있는 열처리를 할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711194123
과제번호	2023-0218
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구사업 중견후속
연구과제명	Reverse γ/γ' 격자불일치 이용한 적층균열-free 내열합금 설계와 편석 유기 새로운 강화기구 제어
기 여 율	1/2
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415185121
과제번호	2023-0034
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술기획평가원
연구사업명	소재부품패키지형 기술개발사업
연구과제명	750급 Ni계 초내열합금 무게목 튜브 제조기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

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; 2.0 중량% 이하의 Mo; 0.005 ~ 0.08 중량%의 C; Ni 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 제조 및 가공 후 열처리 방법에 있어서,

- (a) 상기 초내열합금을 1180 ~ 1220℃에서 10 ~ 30분 동안 용체화 처리하는 단계;
- (b) 상기 단계 (a)에서 용체화 처리한 초내열합금을 용체화 처리 온도로부터 곧바로 940 ~ 960℃까지 1 ~ 3℃/분의 냉각속도로 서냉하는 단계;
- (c) 상기 단계 (b)에서 서냉한 초내열합금을 시효처리를 위한 750 ~ 850℃까지 8 ~ 12℃/분의 냉각속도로 서냉하는 단계;
- (d) 상기 단계 (b)에서 서냉한 초내열합금을 750 ~ 850℃에서 4 ~ 20시간 동안 유지해 시효처리하는 단계; 및
- (e) 상기 시효처리한 초내열합금을 공냉하는 단계;를 포함하는

Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Ni-Cr-Co계 초내열합금은 Inconel 740H(Ni-24.5Cr-20Co-1.35Al-1.35Ti-1.5Nb-0.1Mo-0.03C)인 것을 특징으로 하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

- (a) 상기 Inconel 740H 초내열합금을 1200℃에서 10분 동안 용체화 처리하는 단계;
- (b) 상기 단계 (a)에서 용체화 처리한 Inconel 740H 초내열합금을 용체화 처리 온도로부터 곧바로 950℃까지 2℃/분의 냉각속도로 서냉하는 단계;
- (c) 상기 단계 (b)에서 서냉한 Inconel 740H 초내열합금을 시효처리를 위한 800℃까지 10℃/분의 냉각속도로 서냉하는 단계;
- (d) 상기 단계 (b)에서 서냉한 Inconel 740H 초내열합금을 800℃에서 16시간 동안 유지해 시효처리하는 단계; 및
- (e) 상기 시효처리한 Inconel 740H 초내열합금을 공냉하는 단계;를 포함하는,

Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따라 열처리된 Ni-Cr-Co계 초내열합금.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 초내열합금의 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금에 대한 것으로서, 보다 상세하게는, 석출경화형 니켈기 초내열합금의 파형 결정립계(serrated grain boundary) 형성을 위한 열처리 방법 및 그에 의한 합금에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 니켈기 초내열합금은 고온 강도가 우수하고, 가공성, 용접성, 내산화성 등이 우수하여 항공 및 발전용 터빈 고온 부품의 소재로 사용되고 있다. 특히, 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금인 Inconel 740H는 증기온도 700℃ 이상, 30MPa 이상 압력에서 가동되는 극초임계압(hyper super critical) 화력발전시스템에 보일러 증기관 소재로 ASME(American Society of Mechanical Engineers) 국제표준규격에 등재된 유일한 초내열합금이다. 이외에도 항공 엔진용 터빈의 연소기 혹은 스팀터빈의 블레이드/베인 부품에 주로 사용되고 있는 단련용 석출경화형 니켈기 초내열합금 중에서 고온 강도가 가장 높은 등급의 소재 중 하나이다.

[0003] 하지만, 이러한 극초임계압 화력발전 증기관, 항공 엔진용 연소기, 스팀터빈 블레이드에서 소재는 700℃ 이상에서 장시간 사용되므로, 고온 크리프, 피로 등의 손상과 더불어 산화, 불순물 기체에 의한 부식 등에 의해 예측되지 않는 소재 파단이 우려된다. 따라서, 이러한 소재의 주요한 손상의 원인인 크리프, 피로, 산화, 부식 등의 저항성을 향상시키는 것은 제조업체, 부품가공업체 및 운영업체 모두에게 중요한 과제의 하나로 고려되고 있다.

[0004] 석출강화형 Inconel 740H 합금은 기존 Inconel 740 합금을 극초임계압 화력발전 적용에 특별하게 맞추기 위해 개량한 것으로서, 열적 안정성을 높이하고자 Al, Ti 함량을 1.35 wt%로 조정하고, 용접향상을 위해 Nb를 1.5 wt%로 낮추고, 유해한 G상 생성을 억제하고자 Si 함량을 0.15 wt%로 낮춘 최신 합금이다. 개발된 지 20년도 지나지 않은 합금으로 본 합금의 제조 및 가공에 적용되는 열처리 공정은 아직 완전하게 표준화되지는 않았으나, 통상적으로 고온 영역에서 용체화 처리(1120~1150℃/30분 이상) 후에 수냉(냉각 속도 50℃/초 이상)을 하고 이후 시효처리(750~800℃/4시간 이상)한다. 상기 열처리 공정은 열간압연 혹은 냉간 가공 후 용체화 처리공정에서 소재 내의 MC, M₂₃C₆ 탄화물들을 단순히 용해, 고용시키고 편석을 제거시켜 미세조직을 균질화시키는 것이 그 목적이다. 또한, 시효처리는 규칙 격자 강화상인 γ' 을 소재 내 균일하게 석출시켜 고온 강도를 증가시키는 목적이 있다.

[0005] 하지만, 이러한 열처리법은 크리프, 피로, 산화, 부식 등에 대한 저항성이 만족하지 못한 수준만큼 개선되지 못하고 있다. 특히, 700℃ 이상의 고온에서 장시간 노출되는 환경에서는 크리프, 피로, 산화, 부식 등의 손상에 의해 결정립계가 심각하게 열화되고 취약해지므로 결정립계 열화 저항성을 향상시키고 경제적이며 간편한 열처리 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1593299호 (등록일: 2016.02.02)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 700℃ 이상의 고온에서 장시간 노출되는 환경에서 크리프, 피로, 산화, 부식에 대한 저항성을 크게 향상시키고 경제적이며 간편한, Inconel 740H 등의 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금에 대한 열처리 방법 및 상기 열처리 방법에 의해 제조된 니켈기 초내열합금을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 기술적 과제를 달성하기 위해, 본 발명은 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; 2.0 중량% 이하의 Mo; 0.005 ~ 0.08 중량%의 C; Ni 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 제조 및 가공 후 열처리 방법에 있어서, (a) 상

기 초내열합금을 1180 ~ 1220℃에서 10 ~ 30분 동안 유지하는 용체화 처리 단계, (b) 상기 용체화 처리한 초내열합금을 용체화 처리 온도로부터 곧바로 940 ~ 960℃까지 1 ~ 3℃/분의 냉각속도로 냉각하는 제1 서냉 단계, (c) 상기 제1 서냉 단계를 완료한 초내열합금을 시효처리를 위한 750 ~ 850℃까지 8 ~ 12℃/분의 냉각속도로 냉각하는 제2 서냉 단계, (d) 상기 제2 서냉 단계를 완료한 초내열합금을 750 ~ 850℃에서 4 ~ 20시간 동안 유지하는 시효처리 단계 및 (e) 상기 시효처리한 초내열합금을 공냉하는 공냉 단계를 포함하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법을 제안한다.

[0009] 또한, 상기 Ni-Cr-Co계 초내열합금은 Inconel 740H(Ni-24.5Cr-20Co-1.35Al-1.35Ti-1.5Nb-0.1Mo-0.03C)인 것을 특징으로 하는 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법을 제안한다.

[0010] 그리고, 본 발명은 발명의 다른 측면에서 상기 방법에 따라 열처리된 Ni-Cr-Co계 초내열합금을 제안한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따른 열처리 방법에 의하면, Inconel 740H 등의 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금의 기본적인 특성은 그대로 유지한 채 결정립계의 형상을 파형 모양으로 변화시켜서 계면에너지가 낮은 저밀도의 탄화물의 석출을 유도하고 결정립계와 기지와의 결합력을 높임으로써, 700℃ 이상의 고온에서 장시간 노출되는 환경에서도 크리프, 피로, 산화, 부식 등 입계균열 파손에 대하여 저항성을 크게 향상시킴과 동시에 시간과 비용을 절약할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명에 따른 Inconel 740H 합금에 대한 열처리 방법과 기준에 이루어지던 통상의 Inconel 740H 합금 열처리 방법 각각에 대한 열처리 프로파일의 모식도이다.

도 2는 본 발명에 따라 Inconel 740H 합금을 열처리할 때 각 열처리 단계에 따른 파형입계 발달을 보여주는 주사전자현미경(SEM) 사진이다.

도 3은 통상의 열처리 방법에 의해 얻어진 Inconel 740H 합금의 미세조직을 보여주는 주사전자현미경 사진이다.

도 4는 본 발명에 따른 열처리 방법에 의해 얻어진 Inconel 740H 합금의 미세조직을 보여주는 주사전자현미경 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 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.

[0014] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예를 특정된 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0015] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 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.

[0016] 이하, 본 발명을 상세히 설명하도록 한다.

[0017] 니켈기 초내열합금의 주요 손상원인인 입계손상은 모두 취약한 결정립계를 따라 균열이 주로 생성되고 전파한다. 이에 따라, 결정립계 자체의 에너지를 낮추고, 균열진정 노정을 늘리며, 입계에 석출되는 석출상, 예컨대 탄화물의 형상과 특성을 변화시킨다면, 입계손상의 저항성을 높일 수 있다.

[0018] 본 발명은, 전술한 입계 에너지를 낮추고, 균열진정 노정을 늘리며 탄화물의 형상과 특성을 변화시키기 위해서, 니켈기 초내열합금 중 Inconel 740H 등의 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금에 파형(wave type)

의 결정립계를 형성하기 위한 신규한 열처리 방법을 제시한다.

- [0019] 참고로, 파형의 결정립계는 다음과 같은 이유에 의해 입계손상에 대한 저항성을 증대시킨다.
- [0020] 먼저 결정립간의 어긋남(misorientation) 정도를 낮추어 기지와의 결합력이 증가하고 동시에 입계를 따르는 균열의 진정 노정을 길게 한다. 또한, 결정립계에 석출되는 탄화물은 밀도가 낮고 안정된 계면에너지를 갖는 판상 모양을 갖는다.
- [0021] 이에 따라 본 발명은 파형의 결정립계를 형성하여 판상의 석출물을 유도하는 열처리 방법을 제시하고자 한다.
- [0022] 파형 입계를 발생에 대한 기구는 여러 가지가 있으나, 입계 스스로가 온도에 따라 총 에너지를 낮추기 위해 형상을 변화시킨다는 것이 일반적으로 알려지고 있다.
- [0023] 즉, 고온 영역에서는 결정립간 어긋남보다는 표면에너지의 영향이 커서 표면적을 가능한 작게 하기 위해 직선형의 입계가 발달한다. 중간온도 영역 이하에서는 상대적으로 결정립간 어긋남이 중요하므로 입계가 결정학적으로 유리하게 배열되도록 여러 개의 세그먼트(segment)로 분리되는 파형입계가 발생한다고 보고되고 있다. 이러한 파형 입계의 발생 기구를 고려하여, 본 발명의 니켈기 합금에서 파형입계를 얻기 위해서는 다음과 같은 조건들을 필수적으로 갖추어야 한다.
- [0024] 첫째로, 입계에서의 탄화물 석출은 최대한 지연되어야 한다. 왜냐하면, 탄화물은 결정립계 고정효과(pinning effect)로 입계의 움직임을 방해되고, 이미 석출된 탄화물들은 그 특성(밀도, 모양 등)을 개선하기 어렵기 때문이다. 따라서 탄소의 과포화는 최소화되어야 한다.
- [0025] 둘째로, 입계가 스스로 움직여서 평형상태에 근접할 수 있도록 충분한 시간과 온도를 부여해야 한다.
- [0026] 셋째로, 본 합금은 석출강화형 초내열합금이며, 강화상인 γ' 석출물의 크기, 분율과 분포의 제어가 중요하다. 파형결정립계 생성을 유도하면서, 미세한 γ' 석출물이 균일하게 분포되도록 최적의 열처리 변수를 찾아야 한다.
- [0027] 본 발명은 상기한 조건들을 충족하기 위하여, 니켈기 합금을 탄화물이 용해, 고용되는 고온영역에서 일정한 시간 동안 유지한 후, 결정립간 어긋남이 중요하게 되는 중간온도 이하까지 이중 서냉하는 방법을 제시한다. 더불어, 상기 방법은 파형 입계의 생성하는 것과 동시에 니켈기 합금에서 요구되는 기본적인 기계적 특성은 그대로 유지하였다.
- [0028] 이하, 기존에 비해 열처리 방법이 간단하고 상기한 본 발명의 목적에 부합하는 새로운 열처리 방법을 구체적으로 설명한다.
- [0029] 도 1은 본 발명에 따른 열처리 방법과 기존에 이루어지던 통상의 열처리 방법을 보여주는 열처리 프로파일의 모식도이다.
- [0030] 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 열처리 방법은 먼저 용체화 처리를 위하여 고온영역인 1180~1220℃에서 소정의 시간, 예컨대 10분~30분을 유지한다.
- [0031] 그 후, γ' 강화상이 석출이 시작되는 온도(γ' Solvus)보다 10~30℃ 낮은 중온영역(940~960℃)까지 1~3℃/분의 속도로 1단계 서냉한다.
- [0032] 이어서, 시효처리 온도인 750~850℃까지 8~12℃/분의 속도로 2단계 서냉한다.
- [0033] 다음으로, 시효처리 온도(750~850℃)에서 소정의 시간까지 유지한 후, 예컨대 4시간~20시간을 유지한 후, 냉각(약 100℃/분)하여 열처리를 종결한다.
- [0034] 여기서, 파형의 입계는 중온영역까지 분당 1~3℃로 서냉하는 과정에 주로 형성된다. 여기서, 용체화 처리시간은 본 발명의 목적에 부합하여 상기 합금에서 균질화 처리가 충분하게 일어나는 즉, 소재 내의 탄화물을 충분히 용해하고 편석대를 제거하며, 아울러 결정립 성장이 충분히 발생하여 취약한 결정립계 면적을 줄일 수 있을 정도의 시간을 말하며, 시효처리 시간은 본 발명의 목적에 부합하여 완전한 파형 결정립계가 시편 전체에 균일하게 생성하도록 유도하고, 만일 파형 결정립계에 탄화물이 석출할 경우 판상의 안전한 계면을 갖는 탄화물들이 일부 석출되는 시간을 말한다.
- [0035] 본 발명에 있어서, 용체화 처리 온도가 1180~1220℃로 한정된 이유는 1220℃를 초과할 경우 결정립 조대화가 급격하게 이루어져, 최종 기계적 특성을 크게 저하시킬 우려가 있으며, 편석대 혹은 결정립계 등에서 부분적 용해(incipient melting)가 발생하기 때문이다. 한편, 용체화 처리 온도가 1180℃ 미만일 경우 NbC와 Nb-rich 한

편석대에 완전히 용해되지 않아 서냉을 하더라도 결정립계 움직임이 제약을 받아 파형입계가 잘 발달하지 않게 된다.

[0036] 또한, 본 발명에서는 용체화 처리 유지시간은 10~30분으로 한정하였는데, 이는 용체화 처리 유지시간이 10분 미만일 경우에는 용체화 처리 목적인 조직 균질화가 충분히 이루어지지 않을 뿐 아니라 결정립계에 편석과 탄화물이 잔류하여 이후에 서냉시에도 파형결정립계 생성에 제한을 받고, 용체화 처리 유지시간이 30분을 초과할 경우에는 결정립 조대화가 발생하여 기본적인 기계적 특성이 저하되기 때문이다.

[0037] 또한, 본 발명에 있어서, 용체화 처리 후 중온영역(940~960℃)까지 1~3℃/분의 속도로 1단계 서냉함에 있어 냉각속도를 분당 1~3℃로 한정한 이유는 냉각속도가 분당 3℃를 초과할 경우 결정립계가 파형으로 될 수 있는 충분한 시간적 여유가 없어 탄화물이 먼저 석출되기 때문에 파형입계를 얻을 수 없기 때문이다. 또한, 냉각속도가 분당 1℃ 미만일 경우, γ' 강화상과 입내 탄화물이 조대화 되어 석출 및 고용강화효과가 크게 떨어져, 고온 기계적 강도가 저하될 우려가 있다.

[0038] 한편, 용체화 처리후 시효처리 온도(750~850℃)까지 1~3℃로 한번에 서냉하지 않고, 중온영역(940~960℃)까지 1단계 서냉한 이유는 다음과 같다.

[0039] γ' 강화상 석출이 왕성하게 발생하는 온도영역(800~940℃) 구간에서 1~3℃/분의 속도로 너무 느리게 냉각한다면, γ' 강화상이 조대화 되어 기계적 특성이 크게 저하되기 때문에 γ' 강화상 석출이 본격적으로 발생하는 온도보다 높은 온도까지만 1~3℃/분의 속도 과서냉을 하는 것이 바람직하다.

[0040] 용체화 처리 후 1단계 서냉하는 중온 영역의 설정은 γ' Solvus 온도(약 970℃)보다 10~30℃ 낮은 온도(예컨대, 940~960℃)로 설정하였다. 용체화 처리 후 1~3℃/분의 속도로 940℃ 미만까지 서냉할 경우, γ' 강화상과 입내 탄화물이 매우 조대화되고, 반면 960℃ 보다 높은 온도까지 서냉을 할 경우, 완전한 파형입계 생성이 부족하고, 안전한 판상의 탄화물 석출이 미흡하여 입계 파단 저항성의 개선이 크지 않다.

[0041] 중온영역(940~960℃)까지 1단계 서냉 직후, 다시 시효처리 온도(750~850℃)까지 8~12℃/분의 속도로 2단계 서냉하는 이유는 생성된 파형입계들의 진폭을 최대로 늘리되, 석출되는 γ' 강화상의 조대화를 억제하는 목적으로 설정하였다. 이 구간에서 냉각속도가 분당 8℃ 미만일 경우, γ' 강화상과 탄화물들이 조대화 되어 기계적 특성이 우려되고, 분당 12℃를 초과할 경우 진폭이 뚜렷한 파형입계의 발달이 제한되어, 입계파단 저항성의 개선이 크지 않다.

[0042] 2단계 서냉하여 도달하는 시효처리 온도를 750~850℃로 한정한 이유는 850℃를 초과할 경우 서냉하는 온도 구간이 충분하지 않아 높은 분율의 파형입계 생성이 유도되지 않는다. 또한, 시효처리온도가 750℃ 미만일 경우 그 온도대에서 빠르게 형성되는 입계 석출물에 의하여 오히려 파형입계 형성 분율이 현저히 낮아지게 된다.

[0043] 한편, 시효처리 시간을 4~20시간으로 한정한 이유는 시효처리 시간이 4시간 미만일 경우 시간이 충분하지 않아 시편 전체에 완전한 형상의 파형 결정립계가 나타나지 않고, γ' 강화상이 충분히 석출되지 않아 만족스럽지 못한 분율을 얻을 수 있다. 반면, 시효처리 시간이 20시간을 초과할 경우, 입내 및 입계 탄화물이 조대화되어 탄소에 의한 고용강화효과가 떨어지고, γ' 강화상이 조대화 되어 고온 강도를 열화시키기 때문이다.

[0044] 상술한 본 발명에 따른 Ni-Cr-Co계 초내열합금의 열처리 방법에 의하면, Inconel 740H 등의 단련용 Ni-Cr-Co계 석출강화형 니켈기 초내열합금의 기본적인 특성은 그대로 유지한 채 결정립계의 형상을 파형 모양으로 변화시켜서 계면에너지가 낮은 저밀도의 탄화물의 석출을 유도하고 결정립계와 기지와의 결합력을 높임으로써, 700℃ 이상의 고온에서 장시간 노출되는 환경에서도 크리프, 피로, 산화, 부식 등 입계균열 파손에 대하여 저항성을 크게 향상시키고 동시에 시간과 비용을 절약할 수 있다.

[0045] 이하, 실시예를 들어 본 발명에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0046] 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.

[0047] <실시예>

[0048] 아래 표 1의 '실시예'에 기재된 열처리 조건에 따라 Inconel 740H 시편을 열처리하였다.

[0049] 즉, 1200℃에서 10분 용체화 처리를 하고, 950℃까지 2℃/분의 냉각속도로 1단계 서냉했다. 이후 800℃까지 10℃/분의 냉각속도로 2단계 서냉하고 그 온도(800℃)에서 16시간 동안 유지하여 시효처리를 하고 공냉을 통해 상

온까지 온도를 내렸다.

[0050] 상기와 같이 Inconel 740H 합금을 열처리할 때 각 열처리 단계에 따른 파형입계 발달을 보여주는 주사전자현미경(SEM) 사진인 도 2를 참조하면, 용체화 처리 직후 반듯한(straight) 결정립계가 1단계 서냉 10분 정도 뒤에 구불해지기 시작하고, 이후 시간이 지나면서 대부분의 결정립계가 파형의 형상으로 발달되고 진폭이 점점 증가함을 확인하였다. 이후 800℃에서의 시효처리 동안 파형입계에 판상의 탄화물들이 석출하고, 입내에는 γ' 석출이 완성되어 분율이 22% 정도 됨을 알 수 있었다.

[0051] <비교예 1 내지 9>

[0052] 아래 표 1의 '비교예 1' 내지 '비교예 9'에 기재된 열처리 조건 각각에 따라, 본원 실시예와 용체화 처리 조건, 1단계 및 2단계 서냉 조건, 시효처리 조건 중 하나 이상을 달리하여 Inconel 740H 시편을 열처리하였다.

[0053] [표 1]

구분	열처리 조건				파형입계 생성 유무	주요 미세조직 인자 변화	고온(750 ℃) 항복강도	비고
	용체화 처리	1단계 서냉	2단계 서냉	시효처리				
실시예	1200℃/10분	950℃까지 서냉 2℃/분	800℃까지 서냉 10℃/분	800℃/16시간/공냉	생성	통상 열처리시와 동일	611 MPa	적정 파형입계 진폭 0.5 μ m 이상, 적정 결정립 크기 100~130 μ m 적정 γ 크기(40~60nm) 분율 20% 이상
비교예 1	1150℃/1시간	미수행	800℃까지 서냉 10℃/분	800℃/16시간/공냉	소량 부분생성, 진폭미흡	γ' 강화상 조대화 130nm	N/A	용체화 처리 조건, 1단계 서냉 본원 발명 범위 밖
비교예 2	1200℃/1시간	미수행	800℃까지 서냉 1℃/분	800℃/4시간/공냉	생성	결정립(210 μ m)과 γ' 강화상 조대화(402nm)	484 MPa	용체화 처리시간, 1단계 서냉 본원 발명 범위 밖
비교예 3	1200℃/15분	미수행	800℃까지 서냉 3℃/분	800℃/16시간/공냉	생성	γ' 강화상 조대화(132nm)	552 MPa	1,2단계 서냉 본원 발명 범위 밖
비교예 4	1200℃/15분	미수행	800℃까지 서냉 3℃/분	800℃/4시간/공냉	생성	γ' 강화상 조대화(141nm)	567 MPa	1,2단계 서냉 본원 발명 범위 밖
비교예 5	1200℃/15분	1000℃까 지 서냉 1℃/분	800℃까지 서냉 10℃/분	800℃/16시간/공냉	소량 부분생성, 진폭미흡	γ' 강화상 조대화(154nm)	N/A	1단계 서냉온도 본원 발명 범위 밖
비교예 6	1200℃/10분	950℃까지 서냉 1℃/분	720℃까지 서냉 10℃/분	720℃/20시간/공냉	생성	입계탄화물 과산화	572 MPa	2단계 서냉온도 및 시효처리온도 본원 발명 범위 밖
비교예 7	1200℃/10분	950℃까지 서냉 2℃/분	800℃까지 서냉 10℃/분	800℃/2시간/공냉	생성	γ' 강화상 분율 미흡 13%	533 MPa	시효처리시간 본원 발명 범위 밖
비교예 8	1200℃/15분	950℃까지 서냉 5℃/분	800℃까지 서냉 8℃/분	800℃/16시간/공냉	소량 부분생성, 진폭미흡	-	N/A	1단계 서냉 본원 발명 범위 밖
비교예 9	1200℃/10분	950℃까지 서냉 2℃/분	상온까지 서냉 10℃/분	미수행	생성	γ' 강화상 분율 미흡 16% 입계탄화물 과산화	508 MPa	2단계 서냉 및 시효처리 본원 발명 범위 밖

[0054]

[0055] 상기 표 1의 '파형입계 생성 유무' 항목에 기재한 바와 같이, 본원 실시예에서 얻어진 초내열합금 시편에는 파형입계가 생성된 반면, 본원 실시예의 열처리 조건을 벗어나는 범위에서 열처리된 비교예들에 따른 시편에서는 파형입계가 형성되지 않거나 형성되었다 해도 충분히 발달하지 않았고, 파형입계가 형성될지라도 다른 미세조직 인자(결정립 크기, γ' 크기)가 저하되고, 고온에서의 기계적 강도 또한 본원 실시예에 따라 열처리된 시편에 비해 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.

[0056] 도 3은 통상의 열처리 방법에 의해 얻어진 Inconel 740H 합금의 미세조직을 보여주는 주사전자현미경 사진이고, 도 4는 본 발명에 따른 열처리 방법에 의해 얻어진 Inconel 740H 합금의 미세조직을 보여주는 주사전자현미경 사진이다.

[0057] 도 3 및 도 4를 참조하면, 종래 기술에 따른 통상의 열처리 방법에 의한 미세조직은 반듯한 결정립계 위에 뿔족

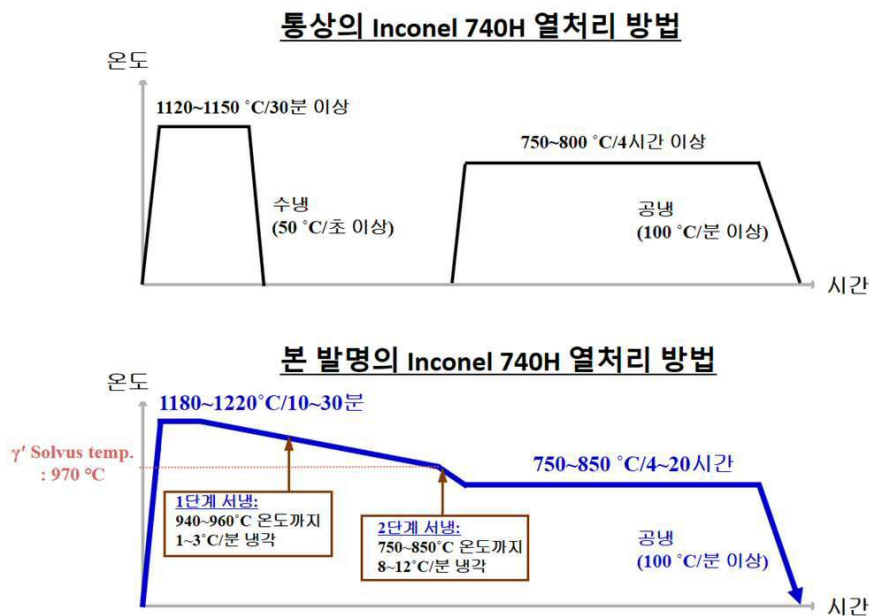
한 입상(granular)의 탄화물들이 연속적으로 석출되어 있다. 반면, 본 발명의 열처리를 적용할 경우, 결정립계가 과형화되어 두 결정립간의 interlocking에 의한 결합력을 향상시킬 뿐만 아니라, 탄화물의 형상을 안정한 계면에너지를 갖는 판상(planar)의 모양을 갖도록 유도하여 결정립계의 에너지를 낮춘다. 이러한 과형입계와 판상의 입계 탄화물을 갖는 미세조직은 고온에서 입계손상의 저항성을 높여 크리프, 피로, 부식 저항성이 우수할 것으로 예측된다.

[0058]

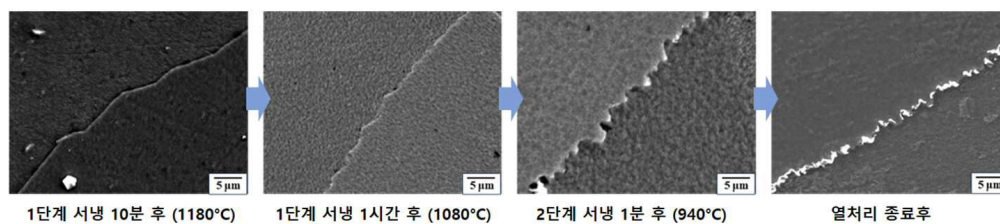
이상, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예에는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

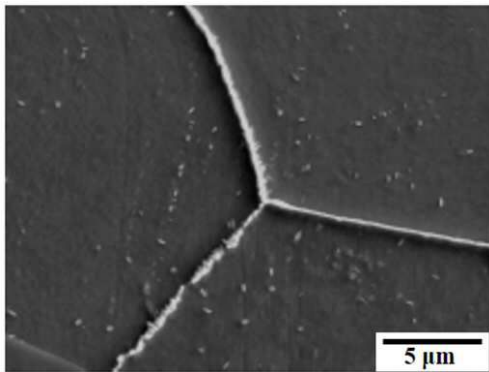
도면1



도면2



도면3



도면4

