



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0115419
(43) 공개일자 2022년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22F 1/10 (2006.01) C21D 9/50 (2006.01)
C22C 19/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22F 1/10 (2013.01)
C21D 9/50 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0019421
(22) 출원일자 2021년02월10일
심사청구일자 2021년02월10일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
홍현욱
경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 213동
1202호(반림동, 트리비아아파트)
김치원
경상남도 김해시 진례면 진례로84번길 34-35
박지운
부산광역시 동래구 사직북로47번길 43, 803호(사
직동, 상우다솜아파트)
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 대형 초내열합금 잉곳의 단조 특성 향상을 위한 균질화 열처리 방법

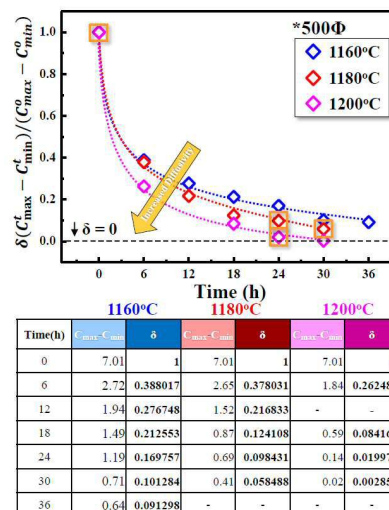
(57) 요약

본 발명은 Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을, 아래 식으로 표시되는 라르손-밀러 파라미터 (Larson-Miller Parameter, LMP)가 31200 ~ 31500인 조건을 만족하는 열처리 온도 및 시간에 따라 균질화 열처리하는 단계를 포함하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법에 관한 것이다:

$$LMP = T \times [\log(t) + 20]$$

(상기 식에서, T는 균질화 열처리 온도(K)이고, t는 균질화 열처리 시간(h)임).

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

C22C 19/03 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113639
과제번호	2020-0122
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	선도연구센터(ERC) 메카트로닉스융합부품소재
연구과제명	메카트로닉스융합부품소재 연구센터
기 여 율	1/2
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2018.09.01 ~ 2021.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115494
과제번호	2020-0100
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	신진중견연계
연구과제명	3D 프린팅 맞춤형 초내열합금설계와 결정립계제어 패키지 기술개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을, 아래 식으로 표시되는 라르손-밀러 파라미터(Larson-Miller Parameter, LMP)가 31200 ~ 31500인 조건을 만족하는 열처리 온도 및 시간에 따라 균질화 열처리하는 단계를 포함하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법:

$$LMP = T \times [\log(t) + 20]$$

(상기 식에서, T는 균질화 열처리 온도(K)이고, t는 균질화 열처리 시간(h)임).

청구항 2

제1항에 있어서,

Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을 1180℃에서 28 ~ 32시간 동안 균질화 열처리해 아래 식으로 표시는 편석지수(δ)가 0.059 이하인 초내열합금 잉곳을 얻는 것을 특징으로 하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법:

$$\delta = \frac{(C_{\max}^t - C_{\min}^t)}{(C_{\max}^o - C_{\min}^o)}$$

(상기 식에서,

$C_{\max}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\min}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\max}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\min}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값임).

청구항 3

제1항에 있어서,

Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을 1200℃에서 22 ~ 26시간 동안 균질화 열처리해 아래 식으로 표시는 편석지수(δ)가 0.003 이하인 초내열합금 잉곳을 얻는 것을 특징으로 하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법:

$$\delta = \frac{(C_{\max}^t - C_{\min}^t)}{(C_{\max}^o - C_{\min}^o)}$$

(상기 식에서,

$C_{\max}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\min}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\max}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고,

$C_{\min}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값임).

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 따라 균질화 열처리된 Inconel 718 잉곳.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 니켈기 초내열합금의 대형 주조 시 발생하는 용질 원자의 편석 발생에 따른 문제점을 극복하기 위한 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 니켈기 초내열합금 잉곳에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 니켈기 초내열합금인 Inconel 718 합금은 현재 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 초내열합금 중 하나로서 일반적인 Ni계 초내열합금은 $Ni_3(Al, Ti)$ 로 구성된 γ' 을 강화상으로 강도를 얻는 합금이지만, Inconel 718은 다른 Ni계 초내열합금과는 달리 Nb이 첨가되어 Ni_3Nb 으로 구성된 주강화상 γ'' 에 의한 석출경화형으로 주로 대형화가 요구되는 가스터빈용 부품소재로 응용되고 있다.

[0003] 한편, 대형화 소재의 경우 주조 시 잉곳의 균질화를 통한 미세조직 건전성 확보가 핵심인데, Inconel 718 합금의 경우 확산속도가 다소 낮은 Nb을 주요 합금 원소로 약 4.75-5.50 wt% 가량 포함하여 주조 시 잉곳에서 편석이 발생하는 것으로 알려져 있다.

[0004] 주조 시 Nb이 수지상 경계부에 편석되면 냉각 시 Laves 상이 정출되며, 높은 Nb 함량에 의해 Ni_3Nb 로 구성되는 δ 상 및 γ' 과 γ'' 상이 국부적으로 석출하게 되는데(도 1), 기존의 균질화 열처리 시 Laves 상을 포함한 편석에 의한 석출상들은 용해될 수 있지만 Nb의 확산속도가 낮아 편석이 잔존하여 후속 공정 시 석출상의 국부적 재형성으로 불균일한 미세조직이 나타날 수 있다.

[0005] 이러한 불균일한 미세조직의 분포는 제품의 생산성 및 특성 저하를 초래할 가능성이 높으므로 균일한 미세조직을 확보할 수 있는 주조재의 균질화 열처리 조건이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 미국 공개특허 제2020-0032379호 (공개일: 2020.01.30.)

(특허문헌 0002) 국제 공개특허 제2011-097084호 (공개일: 2015.08.11.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 대형 Inconel 718 합금 잉곳 주조 시 발생하는 Nb의 편석 및 Laves 상의 정출을 해소하여 후속 공정 시 균열을 방지하고 균일한 미세조직을 유도하여 상기 잉곳을 가공한 단조재 등 제품의 생산성을 향상시킬 수 있는 Inconel 718 합금 잉곳의 균질화 열처리 방법 및 이에 의해 열처리된 Inconel 718 합금 잉곳을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 전술한 바와 같이, 대형 초내열합금(Inconel 718) 잉곳은 응고의 서냉 과정에 의해 불가피하게 최종 응고되는 영역에서 용질 원자(Nb, C, Si 등)이 다량 편석(segregation)되고, 심지어 MC 탄화물과 Laves 상이 공정반응에 의해 정출되기 때문에, 이들을 제거하고 성분을 전체적으로 균일하게 만들어 주는 열처리, 즉, 균질화 열처리(homogenization)를 수행하는 것이 바람직하다.

[0009] 대형 초내열합금 잉곳에 대해 균질화 열처리를 실시함에 있어서, 균질화 열처리 온도가 높으면 편석영역과 정출물 계면에 부분적으로 액화(liquation) 현상이 발생하여, 후속 공정인 단조(forging) 시에 균열이 발생하는 반면, 균질화 열처리 온도가 낮으면 편석이 제거되지 않고 MC 탄화물과 Laves 상이 잔류하게 되어 단조 후에 열처리 동안 강화상인 γ'' 이 불균일 하게 석출되어 단조재의 기계적 특성이 저하되는 문제점을 발생시킨다.

[0010] 따라서, 경제적이면서 편석과 정출상들을 최대한 제거할 수 있는 최적 균질화 처리 도출이 필요하다.

[0011] 이에, 본 발명은 상기 기술적 과제를 달성하기 위해, Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을, 아래 식으로 표시되는 라르손-밀러 파라미터(Larson-Miller Parameter, LMP)가 31200 ~ 31500인 조건을 만족하는 열처리 온도 및 시간에 따라 균질화 열처리하는 단계를 포함하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법을 제안한다.

[0012]

[0013]
$$LMP = T \times [\log(t) + 20]$$

[0014] (상기 식에서, T는 균질화 열처리 온도(K)이고, t는 균질화 열처리 시간(h)임). 을 제안한다.

[0015] 또한, Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을 1180℃에서 28 ~ 32시간 동안 균질화 열처리해 아래 식으로 표시되는 편석지수(δ)가 0.059 이하인 초내열합금 잉곳을 얻는 것을 특징으로 하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법을 제안한다.

[0016]
$$\delta = \frac{(C_{\max}^t - C_{\min}^t)}{(C_{\max}^o - C_{\min}^o)}$$

[0017] (상기 식에서, $C_{\max}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\min}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\max}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\min}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값임)

[0018] 또한, Inconel 718로 이루어진 니켈기 초내열합금 잉곳을 1200℃에서 22 ~ 26시간 동안 균질화 열처리해 아래 식으로 표시되는 편석지수(δ)가 0.003 이하인 초내열합금 잉곳을 얻는 것을 특징으로 하는 초내열합금 잉곳의 균질화 열처리 방법을 제안한다.

[0019]
$$\delta = \frac{(C_{\max}^t - C_{\min}^t)}{(C_{\max}^o - C_{\min}^o)}$$

[0020] (상기 식에서, $C_{\max}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\min}^o$ 는 균질화 열처리하기 전의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\max}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최대 지점의 니오븀 농도값이고, $C_{\min}^t$ 는 균질화 열처리한 후의 잉곳 내 니오븀(Nb) 농도 최소 지점의 니오븀 농도값임)

[0021] 그리고, 본 발명은 발명의 다른 측면에서 상기 방법에 따라 균질화 열처리된 Inconel 718 잉곳을 제안한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 의하면, 대형 Inconel 718 초내열합금 잉곳을 1180℃에서 28 ~ 32시간 또는 1200℃에서 22 ~ 26시간 동안 균질화 열처리함으로써 니오븀(Nb)의 편석 및 Laves 상의 정출을 해소하여 니오븀(Nb)의 분포를 고르게 할 수 있으며, 이로 인해 강화상 γ'' 상이 보다 균일하게 분포될 수 있고, 단조 등 후속 공정 시 밀집된 니오븀(Nb)에 의해 발생하는 δ 상의 불균일 분포를 방지하여 최종적으로 균일한 미세조직을 가지는 우수한 물성의 합금 가공재를 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 Inconel 718 주조재(as-cast)의 미세 조직을 보여주는 주사전자현미경(SEM) 이미지이다.
- 도 2는 Inconel 718 주조 합금의 균질화 열처리 조건에 따른 Nb 편석지수(δ)의 변화를 보여주는 결과이다.
- 도 3(a) 내지 도 3(c)는 각각 Inconel 718 주조재(as-cast), 1180℃에서 24시간 또는 30시간 동안 균질화 열처리한 Inconel 718 주조재, 및 1200℃에서 24시간 동안 균질화 열처리한 Inconel 718 주조재에 대한 Nb EPMA 맵핑 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 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.
- [0025] 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.
- [0026] 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.
- [0027] 이하, 실시예를 들어 본 발명에 대해 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- [0028] 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.
- [0029] <실시예>
- [0030] 진공 아크 재용해(vacuum arc remelting, VAR) 공정으로 제조된 Inconel 718 잉곳(직경 500 ϕ)의 Nb 편석 해소를 위한 균질화 열처리 조건은 Nb의 충분한 확산을 유도하기 위해 온도와 시간을 조절하여 설계되었다.
- [0031] 균질화 열처리를 산업에 적용할 경우 온도와 시간 조건은 경제성에 민감하게 작용하므로 기존 적용 조건인 1180℃-24시간 대비 저온-장시간 및 고온-단시간에 대해 평가하여 조건을 도출하고자 하였다.
- [0032] 균질화 정도의 평가 기준은 주조시 편석 정도가 가장 높은 2차 수지상 사이의 경계부 Nb 함량($C_{\max}^o$)과 편석 정도가 가장 낮은 2차 수지상 내부 Nb 함량($C_{\min}^o$)의 차이로부터 임의의 편석지수를 도출하여 설정하고자 하였다. 초기 주조재(as-cast)에서의 최대, 최소 Nb 함량을 각각 $C_{\max}^o$ 와 $C_{\min}^o$ 으로 정의하고, 열처리 시간 t에서의 최대, 최소 Nb 함량을 $C_{\max}^t$ 와 $C_{\min}^t$ 로 정의하여 편석지수 $\delta = (C_{\max}^t - C_{\min}^t) / (C_{\max}^o - C_{\min}^o)$ 로 설정하였다. 편석지수 δ 의 값은 주조재의 경우 1에서 균질화 열처리 온도와 시간에 따라 0에 수렴하며 편석이 해소되는 것으로 해석할 수 있다.
- [0033] 본 발명자들은 경제성을 고려하여 1160℃, 1180℃, 1200℃ 온도에서 6시간 간격으로 30~36시간 열처리하여 편석지수를 평가하였으며, 그 결과를 도 2에 나타냈다.
- [0034] 먼저, 1160℃ 온도의 경우 다소 온도가 낮아 Nb의 확산이 다소 어려우므로 36시간 열처리를 시행했음에도 편석지수는 약 0.091 수준으로 기존 조건인 1180℃-24시간 조건에서의 편석지수 0.098과 유사하게 나타났다. 한편 1180℃-30시간 조건의 경우 편석지수는 약 0.058 수준으로 24시간 조건보다 효과적인 것으로 확인되었다. 1200℃의 경우 18시간 조건에서 편석지수는 0.084 수준으로 기존 조건에서의 편석지수보다 낮은 것으로 확인되었으나 그 정도가 다소 미비하였다. 한편 24시간의 경우 편석지수는 약 0.002 수준으로 가장 우수한 균질화 효과가 나타나는 것으로 확인되었다.
- [0035] 또한, 전자현미분석기(EPMA)를 통한 성분분석 결과를 나타낸 도 3을 참조하면, Nb의 편석 해소 거동이 위 결과

와 일치하는 것이 확인되었다.

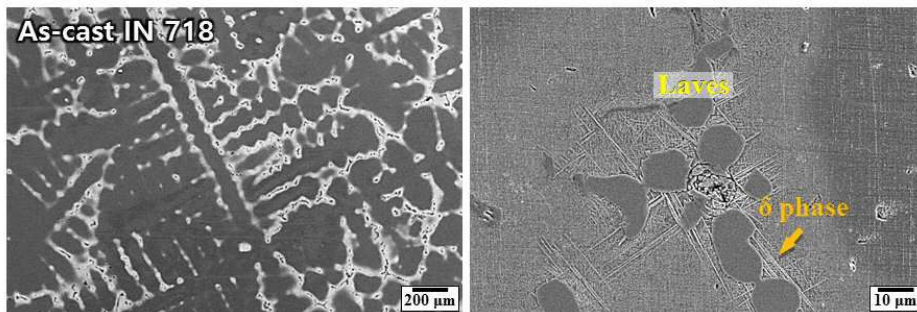
[0036] 이를 통해 경우에 따라 전력소비량을 고려하여 1180℃-30(28~32)시간 또는 보다 고온에서 열처리하는 1200℃-24(22~26)시간 조건의 균질화 열처리를 설계하였다.

[0037] 한편, 균질화 열처리 최적화는 온도-시간 조건에 의존적이므로 균질화 열처리 조건을 온도와 시간에 따른 지표인 Larson Miller Parameter($LMP = T(\text{균질화 온도, K}) \times [\log_{10}(\text{균질화 시간, h}) + 20]$)에 적용할 경우 본 발명에서는 약 31,200~31,500 범위로 도출되었다. 따라서 $LMP = 31,200\sim 31,500$ 범위의 조건에 해당하는 균질화 열처리 조건을 적용할 경우 Nb의 편석을 효과적으로 해소할 수 있을 것으로 예상된다.

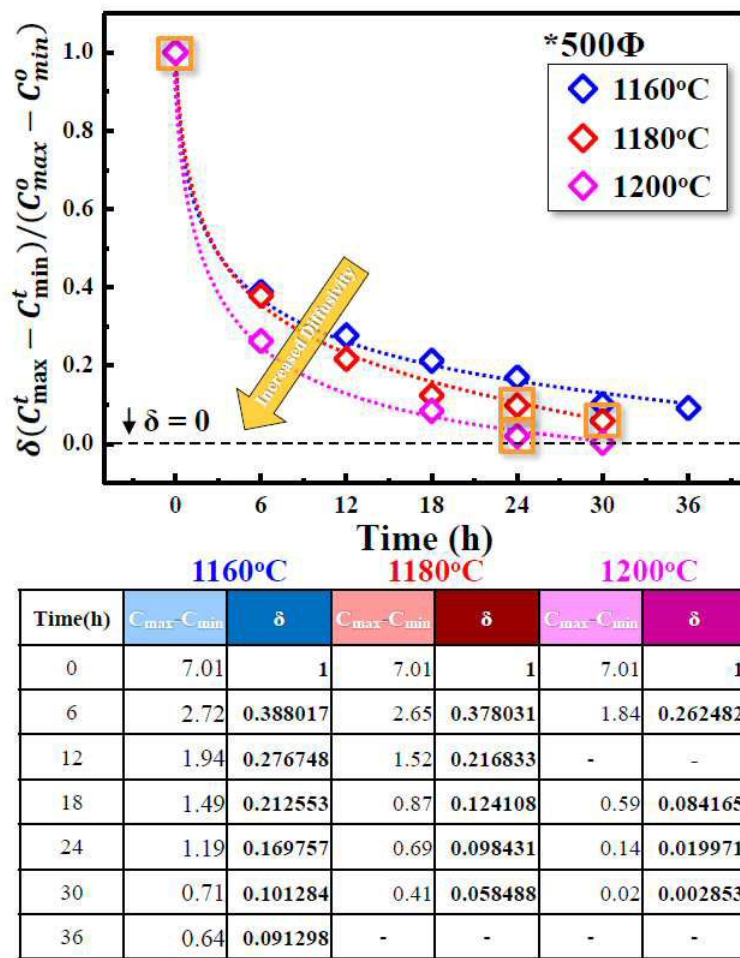
[0038] 이상은 본 발명을 바람직한 실시예 및 비교예에 의거하여 설명하였으나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되지 아니하고 청구항에 기재된 범위 내에서 변형이나 변경 실시가 가능함은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백한 것이며, 그러한 변형이나 변경은 첨부된 특허청구 범위에 속한다 할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3

