

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2013-0133365 (43) 공개일자 2013년12월09일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C22F 1/10 (2006.01) C22C 19/03 (2006.01) (21) 출원번호 10-2012-0056543 (22) 출원일자 2012년05월29일 심사청구일자 2012년05월29일		(71) 출원인 창원대학교 산학협력단 경상남도 창원시 의창구 사림동 9 창원대학교 (72) 발명자 홍현욱 경상남도 창원시 성산구 반림동 18 트리비앙아파트 205동 602호 이재현 서울특별시 강동구 고덕로 62길 76 (명일동, 우성APT) 5-303 (뒷면에 계속) (74) 대리인 노철호, 남충우

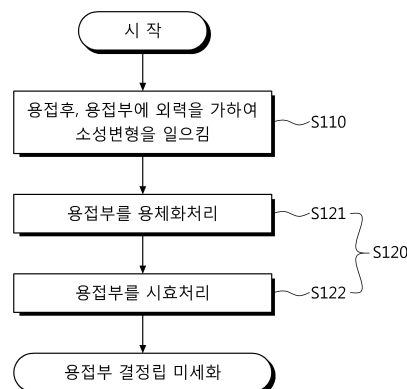
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **크리프 특성이 우수한 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법**

(57) 요약

크리프 특성이 우수한 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법은 니켈기 초내열합금의 접합부 용접에 의해 형성되는 모재 및 용접부 중에서 상기 용접부에 외력을 가하여 소성변형을 일으키는 제1 단계; 및 상기 용접부의 결정립 크기를 상기 모재의 결정립 크기로 미세화시키기 위하여 상기 용접부를 열처리하는 제2 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

정연길

경상남도 창원시 성산구 상남동 대동아파트 118동
606호

우타관

부산광역시 사하구 하단동 1175번지 가락타운 207
동 701호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R-2007-1-003-01

부처명 지식경제부

연구사업명 에너지기술개발사업

연구과제명 1350℃급 가스터빈 Combustion Liner Transition Piece 부품 설계 제작기술개발

기 여 율 1/2

주관기관 창원대학교 산학협력단

연구기간 2009.08.01 ~ 2011.07.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0030801

부처명 교육과학기술부

연구사업명 선도연구센터지원사업

연구과제명 초고온' 고성능 구조재료의 조직제어기술

기 여 율 1/2

주관기관 창원대학교 산학협력단

연구기간 2011.09.07 ~ 2015.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

니켈기 초내열합금의 접합부 용접에 의해 형성되는 모재 및 용접부 중에서, 상기 용접부에 외력을 가하여 소성 변형을 일으키는 제1 단계; 및

상기 용접부의 결정립 크기를 상기 모재의 결정립 크기로 미세화시키기 위하여 상기 용접부를 열처리하는 제2 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

하기 식 1을 만족하도록 상기 용접부에 외력을 가하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

[식 1]

$$0.2t_1 \leq R \leq 0.7t_1$$

(여기에서, t_1 은 용접부에서 모재 표면 위에 돌출된 부분의 최초 높이, R 은 외력에 의한 용접부의 높이 변화량)

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 용접부에 외력을 가하는 방법은 압연 방법, 프레스 방법 또는 쇼트피닝 방법인 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제2 단계는,

상기 용접부를 용체화 처리하는 제2-1 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제2-1 단계의 상기 용체화 처리는 상기 모재의 재결정 온도 이상에서 수행되는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 용체화 처리에서의 온도는 1100℃ 내지 1200℃인 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 제2 단계는,

상기 용접부를 시효 처리하는 제2-2 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 제2-2 단계의 상기 시효 처리에서의 온도는 750℃ 내지 850℃인 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 니켈기 초내열합금을 이용하여 용접한 후, 용접부의 조대한 주상정 조직을 미세화시켜 크리프 특성을 향상시키는 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 초내열합금(superalloys)은 항공우주, 원자력, 파워 플랜트 산업 등의 첨단 산업 분야에서의 구조재료로 많이 이용되는 것으로, 이러한 초내열합금 중에서 니켈기 초내열합금(Ni-based Superalloy)은 가공성, 용접성, 내식성 및 고온 기계적 특성 등이 우수하므로, 가스터빈의 케이싱, 라이너(combustion liner)등의 부품에 사용되는 것이 일반적이다.

[0003] 상기 니켈기 초내열합금을 구조화 하는데 있어서 많이 이용되는 접합 방식은 용접 방식이다. 이와 관련하여, 도 1은 초내열합금의 접합부를 개략적으로 도시한 도면이다. 도 1을 참조하면, 판재로 형성된 초내열합금의 양 단부를 접합하거나 2 이상의 초내열합금의 양 단부를 접합하는 경우에 있어서 초내열합금의 접합부는 크게 모재(1), 열영향부(2) 및 용접금속부(3)로 구분될 수 있다. 이 때, 열영향부(2)와 용접금속부(3)를 합쳐서 용접부(a)라고 지칭하기도 한다.

[0004] 모재(1)는 초내열합금의 접합부 용접에 있어서 용접열 등에 의해 영향을 받지 않는 초내열합금 부분을 의미한다. 열영향부(2)는 소위 HAZ(Heat Affected Zone)로 지칭되기도 하는데, 용접금속부(3)와 같이 용접에 의해 용융 및 응고과정이 직접적으로 이루어지는 부분은 아니지만 용접 작업에서 발생하는 열에 의해 영향을 받는 부분을 의미한다.

[0005] 그런데, 상술한 것과 같은 초내열합금의 용접 작업에 있어서, 용접부(a)의 물성이 모재(1)에 비하여 취약하다는 문제점이 계속 지적되어 왔다. 이는 용접 작업시 발생하는 용접열에 의하여 용접금속부(3)가 용융 및 응고되어 조대한 주상정 조직이 생성되고, 열영향부(2)는 열에 의해 조직이 조대화되는 바, 모재(1)에 비하여 용접부(a)가 조대한 결정립을 가지게 되기 때문이다. 이는 초내열합금을 이용한 부품 등에 있어서 국부적 취약성을 가지는 원인으로 작용하기 때문에, 초내열합금의 용접 작업에 있어 용접부(a)의 물성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 실시예들에서는 용접부의 물성을 모재 수준으로 향상시킬 수 있는 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 따르면, 니켈기 초내열합금의 접합부 용접에 의해 형성되는 모재 및 용접부 중에서, 상기 용접부에 외력을 가하여 소성변형을 일으키는 제1 단계; 및 상기 용접부의 결정립 크기를 상기 모재의 결정립 크기로 미세화시키기 위하여 상기 용접부를 열처리하는 제2 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 니켈기 초내열합금의 용접부 제조방법이 제공될 수 있다.

[0008] 이 때, 하기 식 1을 만족하도록 상기 용접부에 외력을 가하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0009] [식 1]

- [0010] $0.2t_1 \leq R \leq 0.7t_1$
- [0011] (여기에서, t_1 은 용접부에서 모재 표면 위에 돌출된 부분의 최초 높이, R 은 외력에 의한 용접부의 높이 변화량)
- [0012] 또한, 상기 용접부에 외력을 가하는 방법은 압연 방법, 프레스 방법 또는 쇼트피닝 방법인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0013] 한편, 상기 제2 단계는, 상기 용접부를 용체화 처리하는 제2-1 단계를 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0014] 이 때, 상기 제2-1 단계의 상기 용체화 처리는 상기 모재의 재결정 온도 이상에서 수행되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0015] 이 때, 상기 용체화 처리에서의 온도는 1100°C 내지 1200°C 인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0016] 한편, 상기 제2 단계는, 상기 용접부를 시효 처리하는 제2-2 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0017] 이 때, 상기 제2-2 단계의 상기 시효 처리에서의 온도는 750°C 내지 850°C 인 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명의 실시예들에서는 용접부에 1차적으로 외력을 가하여 소성변형을 일으키고, 다시 2차적으로 열처리하여 용접부의 결정립을 미세화 시킴으로써 용접부의 물성을 모재 수준으로 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 초내열합금의 접합부를 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조 방법의 순서도이다.
- 도 3은 도 2의 방법에 따라 용접금속부에 외력을 가하는 모습을 개략적으로 도시한 도면이다.
- 도 4a 내지 도 4c는 시험예에 따른 Nimonic 263 합금의 부위별 미세조직을 촬영한 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명의 실시예들에 대하여 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0021] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 니켈기 초내열합금 용접부의 결정립 제어 방법의 순서도이고, 도 3은 도 2의 방법에 따라 용접부(A)에 외력을 가하는 모습을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0022] 도 2 및 도 3을 참조하면, 다결정 니켈기 초내열합금의 용접부 제조 방법(이하, 용접부 제조 방법)은 모재(10) 및 용접부(A)를 포함하는 니켈기 초내열합금의 상기 용접부(A)에 용접을 수행한 후에, 상기 용접부(A)에 외력을 가하여 소성변형을 일으키는 제1 단계; 및 용접부(A)의 결정립 크기를 모재(10)의 결정립 크기로 미세화시키기 위하여 용접부(A)를 열처리하는 제2 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 본 명세서에서 '니켈기 초내열합금'은 FCC(face centered cubic) 구조를 가지는 감마(γ)상이 기지로 이루어진 Ni-Cr계 다결정(Polycrystalline) 합금을 의미하는 것으로, Al(알루미늄), Ti(티타늄), Co(코발트), Mo(몰리브덴) 등이 함유될 수 있다. 이러한 니켈기 초내열합금의 종류는 다양할 수 있으며, 본 명세서에서 '니켈기 초내열합금'은 공지의 니켈기 초내열합금을 모두 포함하는 개념으로 사용되었음을 밝혀둔다.
- [0024] 니켈기 초내열합금의 예로는 Nimonic 263 등이 있으며, 상기 Nimonic 263은 고온특성이 우수하고 성형성이 좋아 가스터빈의 케이싱, 라이너 등의 구조물로 널리 이용되고 있다.
- [0025] 니켈기 초내열합금은 접합부 용접에 의해 형성되는 모재(10) 및 용접부(A)를 포함한다. 상기 접합부는 예로 들면, 니켈기 초내열합금을 관 형태로 접합시키기 위하여 상기 니켈기 초내열합금의 양 단부를 접합시킬 때의 접합부위, 또는 2 이상의 니켈기 초내열합금의 단부를 접합시킬 때의 접합부위 등이 있다.
- [0026] 모재(10)는 니켈기 초내열합금의 본체 부분을 의미하는 것으로 니켈기 초내열합금의 접합부 용접에서 용접열 등에 의해 영향을 받지 않는 부분을 의미한다.
- [0027] 용접부(A)는 니켈기 초내열합금의 접합부에서 용접이 직접 수행되는 부분을 의미한다. 용접부(A)는 다시 열영향부(20) 및 용접금속부(30)로 구분될 수 있다. 용접금속부(30)는 용접이 직접 수행되는 부분을 의미하고, 열영향부(20)는 용접금속부(30)와 같이 용접 작업이 직접적으로 이루어지는 부분은 아니지만 용접 작업에서 발생하는

열에 의해 영향을 받는 부분을 의미한다. 이러한 열영향부(20)는 용접금속부(30)와 모재(10) 사이에 형성될 수 있다.

[0028] 이하, 각 단계에 대하여 설명하도록 한다.

[0029] (1) 제1 단계(S110)

[0030] 우선, 니켈기 초내열합금의 접합부에 용접을 수행한다. 이 때, 상기 용접 방법은 한정되지 아니하며, 공지된 용접 방법을 이용할 수 있다. 상기 용접 방법의 예로는, 가스 텅스텐 아크 용접(Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) 또는 가스 메탈 아크 용접(Gas Metal Arc Welding, GMAW) 등이 있다. 상기 용접이 종료되면, 니켈기 초내열합금은 모재(10) 및 용접부(A)로 구분되고, 용접부(A)는 다시 열영향부(20) 및 용접금속부(30)로 구분될 수 있다.

[0031] 다음으로, 용접부(A)에 외력을 가하여 소성 변형을 일으킨다. 용접부(A)에 외력을 가하는 것은, 도 3에 도시된 바와 같이 용접부(A)에 외력을 가할 수 있는 외력 가공 장치(100)를 이용하여, 모재(10)를 제외한 열영향부(20) 및 용접금속부(30)에 대해서만 외력을 가하는 것을 의미한다.

[0032] 용접부(A)에 외력을 가하는 방법으로는 압연 방법, 프레스 방법 또는 쇼트피닝 방법 등이 있을 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다. 보다 구체적으로, 압연 방법을 사용하여 용접부(A)에 외력을 가하는 경우에 외력 가공 장치(100)는 압연 장치일 수 있다. 이 경우에, 용접부(A)는 2개의 롤 사이로 통과됨으로써 가공될 수 있다. 프레스 방법을 사용하여 용접부(A)에 외력을 가하는 경우에 외력 가공 장치(100)는 프레스 기계일 수 있다. 이 경우에, 용접부(A)는 프레스에 의해 눌러짐으로써 가공될 수 있다. 쇼트피닝 방법을 사용하여 용접부(A)에 외력을 가하는 경우에 외력 가공 장치(100)는 쇼트피닝 장치일 수 있다. 이 경우에, 용접부(A)는 쇼트피닝 장치에서 투사된 쇼트볼 등에 의해 타격됨으로써 가공될 수 있다.

[0033] 상기와 같이, 용접부(A)에 외력을 가하는 경우에는 용접부(A)의 소성변형이 일어나게 되는데, 이 때, 상기 외력은 모재(10)의 두께 변화가 발생되지 않는 시점까지 용접부(A)에 가해질 수 있다. 여기에서 용접부(A)의 소성변형이 일어나게 된다는 것은, 금속 내부에서 결정립들이 심하게 찌그러지고 내부 전위(dislocation)들의 밀도가 높아지는 것을 의미한다. 용접부(A)의 이러한 상태는 내부축적에너지(internal stored energy)를 증가시키므로, 이후에 열처리(어닐링, annealing)시에 재결정(recrystallization) 핵생성(nucleation)을 촉진시킴으로써 용접부(A)의 조직이 모재(10) 수준으로 미세화되는 데에 기여하게 된다. 이 때, 용접부(A)의 조직이 모재(10) 수준으로 미세화된다는 것은, 용접부(A)를 이루는 열영향부(20) 및 용접금속부(30)와 모재(10)의 결정립 크기가 유사해짐을 의미한다.

[0034] 한편, 용접부(A)의 외력을 가하는 정도는 하기 [식 1]을 만족하도록 수행될 수 있다.

[0035] [식 1]

[0036] $0.2t_1 \leq R \leq 0.7t_1$

[0037] 여기에서, t_1 은 용접부(A)에서 모재(10) 표면 위에 돌출된 부분의 최초 높이를 의미하고, R은 외력에 의한 용접부(A)의 높이 변화량을 의미한다.

[0038] 구체적으로, 니켈기 초내열합금의 용접부(A)에 용접을 수행한 직후에는, 모재(10) 표면을 기준으로 용접부(A)의 일부가 모재(10) 표면 위로 돌출된 형태가 나타난다(주로, 용접금속부(30)). 이 때, 용접부(A)의 일부가 모재(10) 표면 위로 돌출된 부분을 편의상 "돌출부"라고 지칭하는 경우에, 용접부(A)에 외력을 가하게 되면 상기 돌출부의 높이는 낮아지게 된다. 따라서, 상기 [식 1]은 외력이 가해져 변화된 상기 돌출부의 높이 변화량의 범위를 지정한 것으로, 상기 범위는 돌출부의 최초 높이의 20% 내지 70% 범위에 해당한다.

[0039] 외력에 의한 용접부(A)의 높이 변화량(R)이 용접부(A)에서 모재(10) 표면 위에 돌출된 부분의 최초 높이에 20% 미만인 경우에는 소성변형이 충분하지 않아 재결정이 제대로 일어나지 않아 용접부(A) 조직의 미세화 달성이 어려우며, 70% 초과인 경우에는 재결정이 촉진되어 조직 미세화 달성은 가능하지만 니켈기 초내열합금 부품의 형상이 변할 수 있다(이상 S110).

[0040] (2) 제2 단계(S120)

- [0041] 다음으로, 소성변형이 일어난 용접부(A)를 열처리한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 니켈기 초내열합금 용접부의 결정립 제어 방법에서는 용접부(A)에 소성변형을 일으킨 다음에, 상기 용접부(A)를 열처리하여 용접부(A)의 결정립 크기를 모재(10)의 결정립 크기로 미세화시키는 것을 일 특징으로 한다.
- [0042] 상기 열처리는 2가지 단계로 구분될 수 있다. 첫번째 단계는, 용접부(A)를 용체화 처리(solid solution treatment)하는 단계이고, 본 단계를 통해 용접부(A)의 결정립이 모재(10) 수준으로 미세화될 수 있다. 한편, 필요에 따라서 두번째 단계가 도입될 수 있는데, 예를 들어, 니켈기 초내열합금이 감마프라임(γ') 석출강화형 합금인 경우에는 상술한 첫번째 단계에 이어서 용접부(A)에 시효 처리(aging treatment)가 행해질 수 있다. 즉, 상기 시효 처리는 필요에 따라 선택 가능하다.
- [0043] 상기 용체화 처리를 통하여, 제1 단계에서 가해진 외력에 의해 내부축적에너지가 증가된 용접부(A)를 재결정시켜 용접부(A)의 조직을 미세화시킬 수 있다. 또한, 빠르게 용융되고 다시 응고되는 용접부(A) 내부에 존재하는 미세편석을 감소시킬 수도 있다.
- [0044] 상기 용체화 처리는 모재(10)의 재결정 온도 이상에서 수행될 수 있다. 예를 들면, 상기 용체화 처리에서의 온도는 1100℃ 내지 1200℃에서 수행될 수 있으며, 1150℃ 정도가 바람직하다. 한편, 상기 용체화 처리 시간은 10분 내지 1시간 가량의 범위 내에서 수행될 수 있으며, 30분 정도가 바람직하다. 상기 용체화 처리 시간이 10분보다 짧을 경우에는 재결정이 완전히 발생되지 않고 부분적인 회복(recovery)만이 일어나는 문제가 있고, 상기 용체화 처리 시간이 1시간보다 길 경우에는 재결정은 완전히 일어나지만 결정립 성장(grain growth)이 발생하여 결정립이 조대화되는 문제가 있다.
- [0045] 이와 같은, 용체화 처리를 통하여 용접부(A) 내부에서 재결정 현상이 빠르게 촉진되어 결정립의 크기가 모재(10)의 결정립 크기 수준으로 미세화 될 수 있으므로, 비교적 간단한 공정을 통하여 용접부(A)의 물성을 모재(10) 수준으로 향상시킬 수 있다(이상 S121).
- [0046] 한편, 상기 시효 처리는 상술한 것과 같이 니켈기 초내열합금이 감마프라임(γ') 석출강화형 합금인 경우에 선택적으로 행해지는 것으로, 상기 용체화 처리하고 난 후에 공냉 과정을 거친 다음에 용접부(A)를 다시 열처리하는 것을 의미한다. 이 때, 상기 시효 처리에서의 온도는 750℃ 내지 850℃에서 수행될 수 있다. 상기 시효 처리 시간은 한정되지 않으며, 예를 들면, 감마프라임(γ')이 충분히 석출되는 시간에 해당되는 8시간 이상 수행될 수 있다.
- [0047] 이와 같은, 시효 처리를 거치고 나면 용접부(A)의 결정립 크기는 변하지 않지만, 상기 결정립 내부에 감마프라임(γ')이 석출되므로, 모재(10) 수준으로 고온강도가 향상될 수 있다(이상 S122).
- [0048] 이하에서는, 본 발명의 시험예들을 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명하도록 한다. 다만, 하기의 시험예들은 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 예시된 것일 뿐, 본 발명의 권리범위를 제한하지 않음은 자명하다.
- [0049] 시험예
- [0050] Nimonic 263 판재 시편(Haynes社, 미국)의 이음부를 TIG 용접(tungsten inert gas welding) 하고, 프레스 장비를 통하여 상기 이음부 용접에 따라 나타나는 용접부를 10회 프레스 하여 소성변형 시켰다. 상기 소성변형은 모재 표면 위로 돌출된 용접부의 최초 높이를 기준으로 상기 용접부가 대략 50% 정도의 높이를 가지도록 수행되었다. 다음으로, 상기 판재 시편을 1150℃에서 30분 동안 용체화 처리한 후에, 다시 800℃에서 8시간 동안 시효 처리 하였다.
- [0051] 상기와 같이 처리된 판재 시편의 미세조직을 용접금속부, 열영향부 및 모재 각각에 대하여(도 3 참조) 광학현미경(OM, Optical Microscope)으로 관찰하였다. 이와 관련하여, 도 4a 내지 도 4c는 시험예에 따른 Nimonic 263 판재 시편의 부위별 미세조직을 촬영한 사진이다.
- [0052] 도 4a는 시편의 용접금속부에 해당하고, 도 4b는 시편의 열영향부(HAZ)에 해당하고, 도 4c는 시편의 모재에 해당한다. 도 4a 내지 도 4c에서 알 수 있듯이, 본 발명의 일 실시예에 따른 용접부 결정립 제어 방법으로 판재 시편을 처리한 결과, 용접금속부, 열영향부 및 모재의 결정립 크기 차이가 거의 나지 않음을 확인하였다. 따라서, 전체적으로 결정립의 균일화 현상이 나타났음을 확인하였다.
- [0053] 다음으로, 본 발명의 실시예에 따른 니켈기 초내열합금의 크리프(creep) 특성 향상 정도를 알아보기 위하여, 상술한 것과 같이 Nimonic 263 판재 시편을 본 발명의 실시예와 같이 처리한 실시예 1,2와 단지 용접만을 행한 비

교예에 대하여 크리프 시험을 수행하였다(온도 870℃, 응력 113MPa 조건). 그 결과를 하기 [표 1]에 나타내었다.

표 1

	크리프 파단시간(hr)	크리프 연신율(%)
실시예 1	85.5	48.1
실시예 2	95.3	51.2
비교예	63.2	40.9

[표 1]에서 알 수 있듯이, 실시예들의 경우 비교예에 비하여 크리프 수명이 약 35~51% 가량 향상되었음이 확인되었다. 따라서, 본 발명의 실시예들에 따른 니켈기 초내열합금의 용접부의 크리프 특성이 종래에 비하여 우수하다는 것을 알 수 있다.

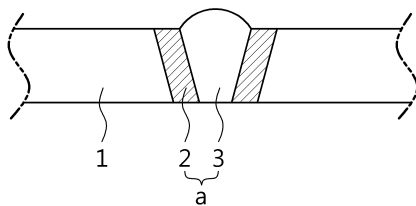
이상, 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함된다 할 것이다.

부호의 설명

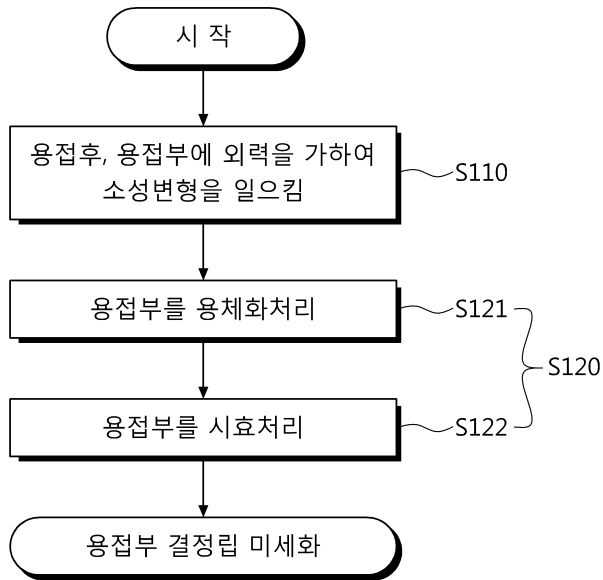
- 1, 10: 모재
- 2, 20: 열영향부
- 3, 30: 용접금속부
- A, a: 이음부
- 100: 외력 가공 장치

도면

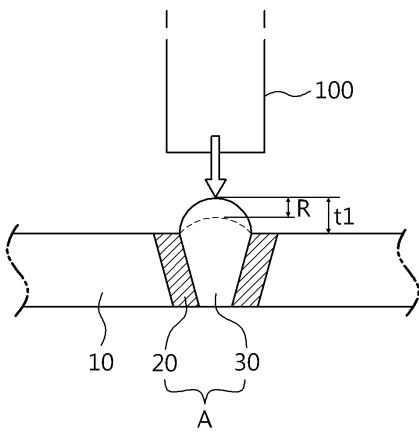
도면1



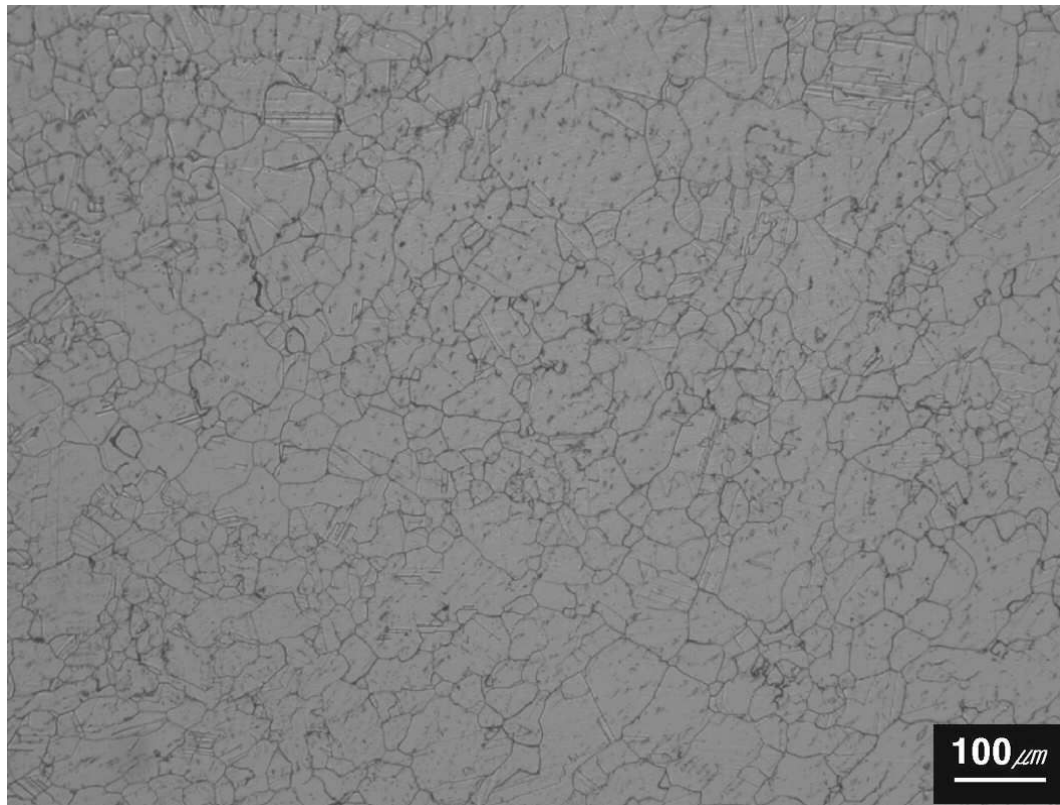
도면2



도면3



도면4a



도면4b



도면4c

