



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0074352
(43) 공개일자 2019년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 17/02 (2006.01) G01N 1/30 (2006.01)
G01N 1/34 (2006.01) G01N 17/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 17/02 (2013.01)
G01N 1/30 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0175625
(22) 출원일자 2017년12월20일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
장희진
광주광역시 동구 의재로51번길 22-2, 101동 1102호(학동, 학동대주피오레-힐즈)
이규혁
광주광역시 광산구 신창로71번길 16, 1105동 704호(신창동, 신창5차부영사랑으로)
(74) 대리인
특허법인아이엠

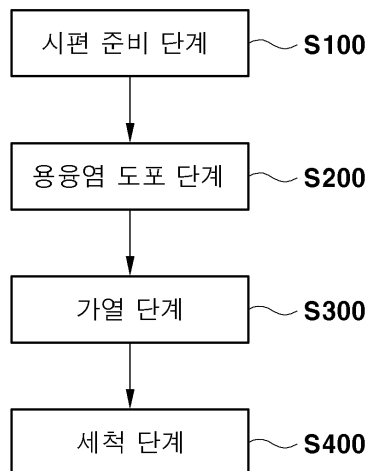
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법

(57) 요약

본 발명은 고온용융염부식 실험 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 염 도포 방식, 세척 방법, 최고 온도 유지시간을 최적의 조건으로 적용하여, 고온 부식 저항성을 신뢰성있게 평가할 수 있는 초내열합금의 고온용융염부식 실험 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 1/34 (2013.01)

G01N 17/006 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415152009

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 태양열 기반 계간축열 시스템 최적화 기술 고급 트랙

연구과제명 태양열 기반 계간축열 시스템 최적화 기술 고급 트랙

기 여 율 1/1

주관기관 조선대학교

연구기간 2017.04.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

시편을 준비하는 시편 준비 단계;

준비된 시편에 황산나트륨(Na_2SO_4) 및 염화나트륨(NaCl)을 포함하는 혼합염 포화용액에 침지시켜 용융염을 도포하는 용융염 도포단계;

용융염이 도포된 시편을 가열시켜 부식시키는 가열 단계; 및

가열처리된 시편을 끓는 물에 침지시켜 염을 용해시킨 후 초음파 처리되는 세척단계;를 포함하고,

상기 가열 단계는 복수회 반복되고, 상기 세척단계는 상기 가열단계가 완료될 때마다 수행되는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 시편은 니켈기 초내열 합금 GTD-111인 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 혼합염 포화용액은

75 중량%의 황산나트륨(Na_2SO_4) 및 25 중량%의 염화나트륨(NaCl)을 포함하는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 용융염 도포 단계는

상기 혼합염 포화용액에 상기 시편을 침지하여 130°C 의 건조로에서 건조시키는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 용융염 도포 단계는

상기 시편에 도포되는 염 도포량이 110mg 내지 130mg인 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 6

제 2항에 있어서,

상기 가열단계는

용융염이 도포된 상기 시편을 400℃의 가열로에 장입한 후 승온하여 700℃에서 2시간 내지 15시간 유지한 후, 400℃에서 냉각시키는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 가열단계는

700℃에서 2시간 동안 유지시키는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7항 중 어느 한 항의 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법이 수행되고,

세척된 상기 시편을 건조하여 무게를 측정하여, 상기 시편의 무게 손실량을 이용하여 부식률을 평가하는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 저항성 평가방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고온용융염부식 실험 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 염 도포 방식, 세척 방법, 최고 온도 유지시간을 최적의 조건으로 적용하여, 고온 부식 저항성을 신뢰성있게 평가할 수 있는 초내열합금의 고온용융염부식 실험 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 현대 산업의 급속한 발달로 화학 공업 장치를 비롯한 항공기의 제트 엔진의 주요부품인 터빈디스크와 터빈블레이드, 원자력 산업 부품 등 고온에서 사용 가능한 재료의 수요가 날로 증가하고 있다. 니켈기 초내열합금은 내산화성, 내마모성 및 고온강도가 우수하여 발전 및 항공용 가스터빈의 블레이드와 노즐, 연소기 등의 고온 부품 미래형 원전인 초고온 가스로의 열 교환기 및 주배관 고온 부식성 극한환경 화학 플랜트의 반응로 소재 등 다양한 에너지플랜트 산업의 핵심소재로서 쓰인다.

[0004] 항공기나 산업용 가스터빈 엔진에서는 고온 용융염부식이 많이 발견되고 있다. 고온용융염부식(hot corrosion)이란 원래는 견고한 산화 피막을 형성하여 내식성을 나타내는 내열합금이 용융염에 접하게 되면 침식이 가속되는 현상을 말한다.

[0005] 대기중에 존재하는 aerosol 상태의 NaCl이 터빈 내부로 흡입되어 연료 중에 함유되어 있는 S 성분과 고온에서 반응하여 Na₂SO₄가 생성된다. 부착된 Na₂SO₄의 막에 의해서 부식이 발생하여 보호피막을 파괴하고 수명을 단축시킨다.

[0006] 내구성이 높은 고온용 재료의 개발 및 실용화를 위해서는 재료 제조기술 외에도 고온 부식저항성을 적절하고 정확하게 평가할 수 있는 방법의 확보가 필수적이다.

[0007] 그간 이러한 문제의 해결을 위해서 많은 연구가 수행되었고 아울러 많은 새로운 방법이 제안되어 왔으나 아직 전세계적으로 이러한 내구특성을 측정 평가하여 실제 사용조건에서의 재료의 내구수명을 평가 또는 예측할 수 있는 재현성이 높고 정확한 평가방법은 개발되지 못한 상태이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 이러한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 고온 부식저항성을 적절하고 정확하게 평가할 수 있는 초내열합금의 고온용융염부식 실험 방법을 제공하는 것이다.
- [0010] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기의 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 시편을 준비하는 시편 준비 단계; 준비된 시편에 황산나트륨(Na_2SO_4) 및 염화나트륨(NaCl)을 포함하는 혼합염 포화용액에 침지시켜 용융염을 도포하는 용융염 도포단계; 용융염이 도포된 시편을 가열로에 장입시켜 가열시키는 가열 단계; 및 가열된 시편을 끓는 물에 침지시켜 염을 용해시킨 후 초음파 처리되는 세척단계;를 포함하고, 상기 가열 단계는 복수회 반복되고, 상기 세척단계는 상기 가열단계가 완료될 때마다 수행되는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법을 제공한다.
- [0013] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 시편은 니켈기 초내열 합금 GTD-111이다.
- [0014] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 혼합염 포화용액은 75 중량%의 황산나트륨(Na_2SO_4) 및 25 중량%의 염화나트륨(NaCl)을 포함한다.
- [0015] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 용융염 도포 단계는 상기 혼합염 포화용액에 상기 시편을 침지하여 130°C 의 건조로에서 건조시킨다.
- [0016] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 용융염 도포 단계는 상기 시편에 도포되는 염 도포량이 110mg 내지 130mg이다.
- [0017] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 가열단계는 용융염이 도포된 상기 시편을 400°C 의 가열로에 장입한 후 승온하여 700°C 에서 2시간 내지 15시간 유지한 후, 400°C 에서 냉각시킨다.
- [0018] 바람직한 실시예에 있어서, 상기 가열단계는 700°C 에서 2시간 동안 유지시킨다.
- [0019] 또한, 본 발명은 본 발명의 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법이 수행되고, 세척된 상기 시편을 건조하여 무게를 측정하여, 상기 시편의 무게 손실량을 이용하여 부식률을 평가하는 것을 특징으로 하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 저항성 평가방법을 더 제공한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명은 다음과 같은 우수한 효과를 가진다.
- [0022] 본 발명의 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법에 의하면, 염 도포 방식, 세척 방법, 최고 온도 유지시간을 최적의 조건으로 적용하여, 무게 손실량의 데이터 편차를 최소화시킴으로써, 고온 부식 저항성을 신뢰성있게 평가할 수 있는 장점을 지닌다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법을 설명하기 위한 단계도이다.
- 도 2는 용융염 도포 방법과 초음파 세척 주기에 따른 질량 손실 측정 결과를 보여주는 그래프로서, (a)는 초음파 세척을 수행하지 않은 경우, (b)는 4사이클마다 초음파 세척을 수행한 경우, (c)는 1사이클마다 초음파 세척을 수행한 결과이다.
- 도 3은 도2의 평균 무게 손실량과 무게 손실량 데이터의 편차를 나타낸 그래프로서, (a)는 20 사이클 후, (b)는 40 사이클 후의 무게 손실량 및 데이터의 편차를 보여준다.

도 4는 용융염 도포 방법과 초음파 세척 여부에 따른 부식 스케일의 구조와 조성의 차이를 EPMA를 통해 분석한 결과로, (a)는 SI, (b)는 SID, (c)는 SDD 방식을 적용한 결과이다.

도 5는 가열 단계의 최고 온도 시간을 2, 5, 15 시간으로 변화시켜 실험했을 때의 무게 변화 그래프로, (a)는 2 시간, (b)는 5시간, (c)는 15시간으로 했을 때의 무게변화량 결과이다.

도 6은 도 5의 평균 무게 손실량과 무게 손실량 데이터의 편차를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명에서 사용되는 용어는 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어를 선택하였으나, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있는데 이 경우에는 단순한 용어의 명칭이 아닌 발명의 상세한 설명 부분에 기재되거나 사용된 의미를 고려하여 그 의미가 파악되어야 할 것이다.
- [0026] 이하, 첨부한 도면에 도시된 바람직한 실시예들을 참조하여 본 발명의 기술적 구성을 상세하게 설명한다.
- [0027] 그러나, 본 발명은 여기서 설명되는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화 될 수도 있다. 명세서 전체에 걸쳐 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.
- [0029] 도 1은 본 발명에 따른 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법을 설명하기 위한 단계도이다.
- [0030] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법은 시편의 고온 부식 저항성을 신뢰성있게 평가하기 위한 방법으로, 먼저 시편을 준비한다(S100).
- [0031] 여기서, 상기 시편은 니켈기 초내열 합금 GTD-111(Ni-9.5Co-14Cr-1.5Mo-4W-3Al-5Ti-3Ta-0.1C-0.018B)이 이용된다.
- [0032] 다음, 준비된 상기 시편에 황산나트륨(Na_2SO_4) 및 염화나트륨(NaCl)을 포함하는 혼합염 포화용액에 침지시켜 용융염을 도포한다(S200).
- [0033] 이때, 상기 혼합염 포화용액에 상기 시편을 침지하여 130℃의 건조로에서 건조시켜 염이 도포되게 하는 것이 바람직하다.
- [0034] 그 이유에 대해서는, 후술할 실험예를 통해 자세하게 설명하기로 한다.
- [0035] 또한, 상기 시편에 도포되는 염 도포량은 110mg 내지 130mg이며, 상기 혼합염 포화용액은 75 중량%의 황산나트륨(Na_2SO_4), 25 중량%의 염화나트륨(NaCl)을 포함하여 이루어진다.
- [0036] 다음, 용융염이 도포된 시편을 가열로에 장입시켜 가열시킴으로써 고온 부식시키는 가열단계가 수행된다(S300).
- [0037] 여기서, 상기 가열단계는 용융염이 도포된 상기 시편을 400℃의 가열로에 장입한 후 승온하여 700℃에서 2시간 내지 15시간 유지한 후, 400℃에서 냉각시키는 것이 바람직하며, 700℃에서 2시간 동안 유지시키는 것이 보다 바람직하다.
- [0038] 다음, 가열된 시편을 끓는 물에 침지시켜 염을 용해시킨 후 초음파 처리되는 세척단계가 수행된다(S400).
- [0039] 이후, 상기 가열 단계(S300) 및 상기 세척단계(S400)는 순차적으로 복수 번 반복된다.
- [0040] 다시 말하면, 상기 가열 단계(S300)가 복수회 반복되고, 상기 세척단계(S400)는 상기 가열단계가 완료될 때마다 수행되는 것이다.
- [0042] 실험예
- [0043] 니켈기 초내열 합금 시편을 이용하여 염 도포방법, 고온유지시간, 세척방법 세척주기를 각기 다르게 하여 고온 부식 실험을 수행하였다.
- [0044] 먼저, 상기 시편은 니켈기 초내열 합금 GTD-111(Ni-9.5Co-14Cr-1.5Mo-4W-3Al-5Ti-3Ta-0.1C-0.018B)을 이용하였으며, 진공유도 용해로를 사용하여 막대형태로 주조한 뒤 직경 10 mm, 높이 4 mm인 원반형태로 가공하고 표면은 연마지로 #600까지 연마처리하여 준비하였다.

[0045] 이후, 준비된 시편을 75 중량% Na_2SO_4 + 25 중량% NaCl 혼합염 포화용액(염 20 g + 증류수 100 mL)을 이용하여, 하기 표 1에 기재된 바와 같이, 3가지 방식으로 시편에 염을 도포하여 염 도포방법이 고온부식에 미치는 영향을 조사하였다.

표 1

	도포 방법	염 도포량
SI(Solution Immersion)	포화 용액에 침지하여 가열로에 장입	(용액량) 2 ± 0.01 ml
SID(Solution Immersion and Drying)	포화 용액에 침지하여 130℃의 건조로에서 건조한 후 가열로에 장입	120 ± 10 mg
SDD(Solution Dipping and Drying)	포화 용액에 담갔다 꺼낸 후 heat gun을 사용하여 열풍 건조하여 가열로에 장입	40 ± 0.1 mg

[0047] 또한, 반복실험에 의한 부식속도의 평균과 편차를 구하기 위하여 동일한 조건에서 3개씩의 시편을 사용하여 실험을 수행하였다.

[0048] 다음, 염을 도포한 시편을 400℃의 전기로에 장입하고 2시간 동안 승온(승온속도 : 2.5 °C/min)시켜 700℃에서 2, 5, 또는 15시간 유지하고 이후 2시간동안 로냉냉각속도: 약 1 °C/min을 한 뒤, 가열로의 문을 열어 가열로 내에서 2 시간 공냉(냉각속도 : 약 1.4 °C/min)을 하였다. 가열로의 온도가 400 °C가 되었을 때 시편을 꺼내어 상온까지 냉각(냉각속도 : 4~4.5 °C/min)하였다. 이 과정을 40회(cycle) 반복하였다.

[0049] 또한, 하기 표 2에 기재된 바와 같이, 회수한 시편은 1사이클 또는 4사이클마다 끓는 증류수에 30분 동안 담가 시편에 부착된 염을 제거하고 상온의 증류수로 초음파 세척한 시편과 세척하지 않은 시편으로 구분하여 세척주기와 세척 방법의 영향을 조사하였다.

표 2

세척 주기	세척 방법
none	4 cycle마다 끓는 증류수에 담가 염 제거
1 cycle	1 cycle마다 끓는 증류수에 담가 염을 제거하고 초음파 세척
4 cycle	4 cycle마다 끓는 증류수에 담가 염을 제거하고 초음파 세척

[0051] 세척이 끝난 후에는 시편을 130℃의 건조로에서 1시간 동안 건조한 후 시편의 무게를 전자 저울(정밀도 ; $\pm 0.1\text{mg}$)로 측정하여 무게변화를 측정하였다.

[0052] 도 2는 용융염 도포 방법과 초음파 세척 주기에 따른 질량 손실 측정 결과를 보여주는 그래프로서, (a)는 초음파 세척을 수행하지 않은 경우, (b)는 4사이클마다 초음파 세척을 수행한 경우, (c)는 1사이클 마다 초음파 세척을 수행한 결과이다.

[0053] 도 2에 도시한 바와 같이, 대부분의 시편이 고온 부식이 진행됨에 따라 무게가 감소하였다. 그러나 초음파 세척을 하지 않고 끓는 물에 염 제거만 하여 실험을 하면 SDD 방법으로 염을 도포한 경우에 시편의 무게가 감소하지 않고 약간 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0054] 도 3은 도 2의 평균 무게 손실량과 무게 손실량 데이터의 편차를 나타낸 그래프로서, (a)는 20 사이클 후, (b)는 40 사이클 후의 무게 손실량 및 데이터의 편차를 보여준다.

[0055] 한편, 각 실험 조건별로 무게 손실량이 크게 다르므로 그 값의 편차를 그대로 비교하는 것은 적합하지 않다고 판단되어, 무게 손실량의 편차를 무게 손실량으로 나눈 값을 비교에 사용하였다.

[0056] 도 3을 참조하면, 20사이클 및 40사이클 종료 후에 모두 세척 주기에 무관하게 SID 방법으로 염을 도포한 경우의 무게 손실량이 가장 크고 SDD 방법의 무게 손실량이 가장 작게 나타났다.

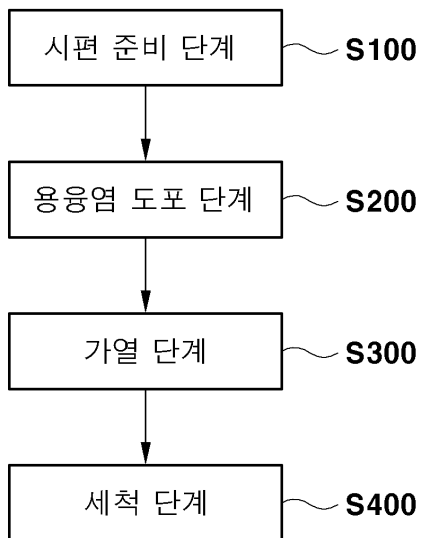
[0057] 세척 주기에 따라서는, 초음파 세척을 한 경우의 무게 손실량이 하지 않은 경우에 비하여 컸다. 반면에 무게 손

실량 대비 편차는 이와 다른 경향을 나타내었는데, 20사이클에서는 세척 주기에 상관없이 SI 방법의 편차가 가장 크고 SID 방법의 편차가 가장 작았다. 40 사이클에서는 초음파 세척을 하지 않은 경우에는 SID 방법의 편차가 가장 작았지만 초음파 세척을 한 경우에는 SDD 방법의 편차가 가장 작아서, 20 사이클에서와는 다른 경향성을 나타내었다.

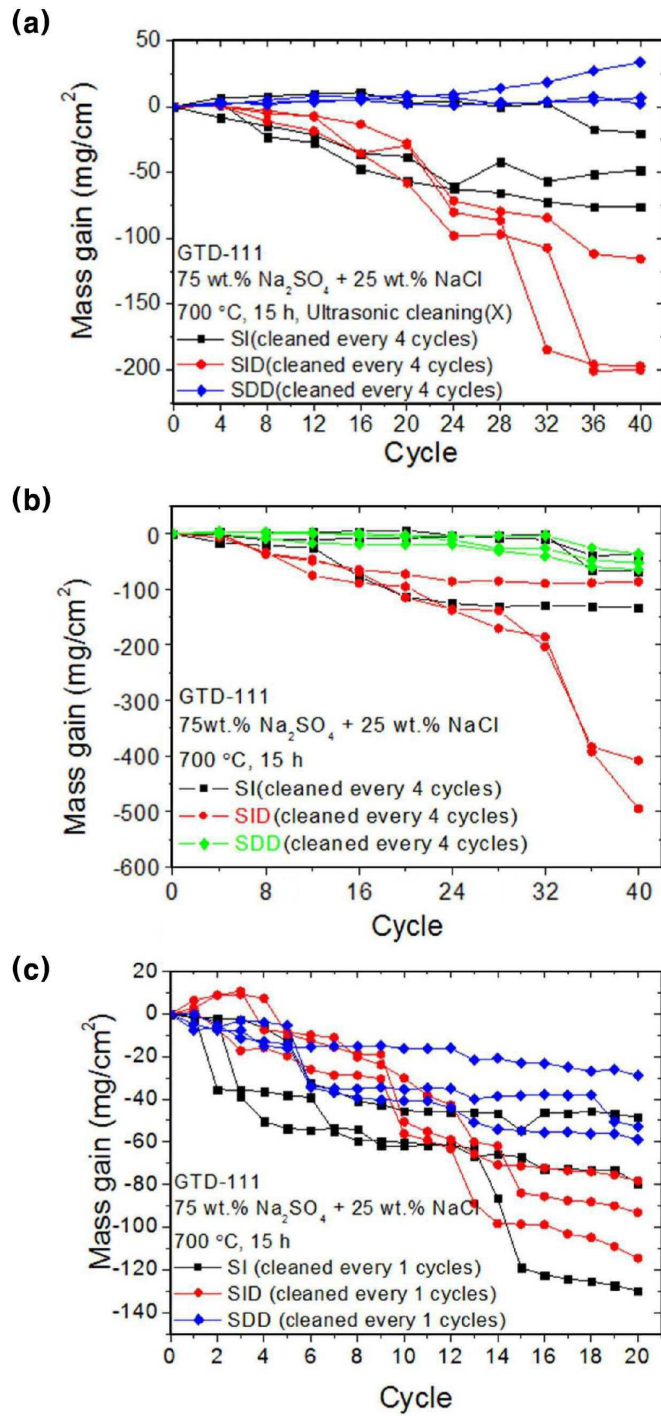
- [0058] 도 4는 용융염 도포 방법과 초음파 세척 여부에 따른 부식 스케일의 구조와 조성의 차이를 EPMA를 통해 분석한 결과로, (a)는 SI, (b)는 SID, (c)는 SDD 방식을 적용한 결과이다.
- [0059] 도 4에 도시된 바와 같이, 모든 시편에서 공통적으로 Ni, Ti, Al, Ta 산화물과 Ni 황화물이 형성된 것으로 나타났다. 실험 조건에 따라 스케일의 두께와 Cr의 분포에 큰 차이가 있었다.
- [0060] 또한, 초음파 세척을 한 시편보다 하지 않은 시편의 스케일 두께가 2배 ~ 5배 정도 두꺼웠는데 이는 초음파 세척을 통해 스케일이 다량 박리되었기 때문이라고 볼 수 있다.
- [0061] 주목할만한 것은 초음파 세척을 한 시편에서 Cr의 농도가 스케일 및 모재 영역 모두에서 매우 낮다는 것이다. 이러한 현상은 염 도포 방식에 상관없이 모두 관찰되었다. Cr은 주로 스케일 외부 영역에서 산화물을 형성하는 원소이다. 따라서 초음파 세척을 통해 주기적으로 Cr 산화물을 포함한 외부 스케일이 제거되면 다음 사이클 동안에 안쪽으로부터 Cr이 확산하여 다시 산화물을 형성하고, 이것이 다음 세척 시기에 또다시 제거되는 과정이 반복되면서 Cr이 고갈되는 것으로 볼 수 있다.
- [0062] 도 5는 가열 단계의 최고 온도 유지시간을 2, 5, 15 시간으로 변화시켜 실험했을 때의 무게 변화 그래프로, (a)는 2시간, (b)는 5시간, (c)는 15시간으로 했을 때의 무게변화량 결과이다.
- [0063] 도 5에 도시된 바와 같이, 최고 온도 유지시간이 2시간일 때에는, 모든 시편이 첫 세척 주기까지 약간 무게가 증가하였다가 꾸준히 감소하는 추세를 나타내었다. 최고 온도 유지시간이 5시간일 때는 일부 시편은 초반부터 무게가 감소하고, 다른 시편은 12 ~ 16 사이클 (3 ~ 4 세척 사이클)까지 무게가 증가하다가 감소하는 양상을 나타내었다. 최고 온도 유지 시간을 15시간으로 하였을 때는 무게가 천천히 증가하다가 20 사이클 이후에 감소하는 시편도 있었고, 초반부터 무게가 감소하는 시편도 있었다.
- [0064] 도 6은 도 5의 평균 무게 손실량과 무게 손실량 데이터의 편차를 나타낸 그래프로, 도 6을 참조하면, 평균적으로, 최고 온도 유지 시간이 5시간일 때의 부식 속도가 가장 낮고 15시간인 경우의 부식 속도가 가장 빨랐다. 부식 속도의 편차는 5시간이 가장 크고 2시간이 가장 작은 것으로 나타났다.
- [0065] 이러한 결과를 바탕으로, 데이터 간의 편차를 가장 작게 하려면 염 도포 방법은 SID, 세척 방법은 1 사이클마다 초음파 세척, 최고 온도 유지 시간은 2 시간으로 하는 것이 가장 바람직한 조건으로 도출되었다.
- [0066] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법은 염 도포 방식, 세척 방법, 최고 온도 유지시간을 최적의 조건이 적용되어, 무게 손실량의 데이터 편차를 최소화시킴으로써, 고온 부식 저항성을 신뢰성있게 평가할 수 있는 장점을 지닌다.
- [0067] 이에 따라, 본 발명은 본 발명에 따른 초내열합금의 고온 용융염 부식 실험 방법이 수행된 다음, 세척된 상기 시편을 건조한 후 무게를 측정하여, 상기 시편의 손실량을 이용하여 부식률을 평가하는 초내열합금의 고온 용융염 부식 저항성 평가방법으로 제공될 수 있다.
- [0069] 이상에서 살펴본 바와 같이 본 발명은 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기한 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변경과 수정이 가능할 것이다.

도면

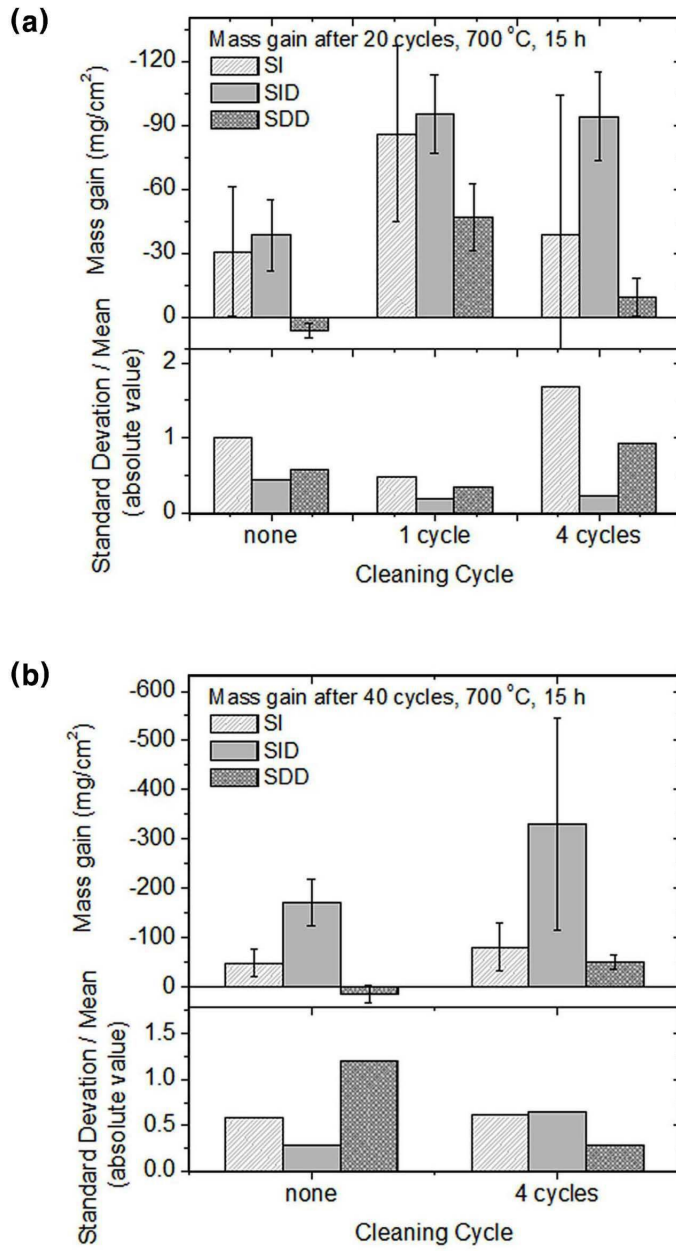
도면1



도면2

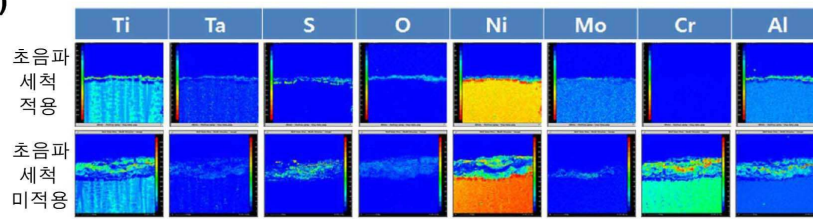


도면3

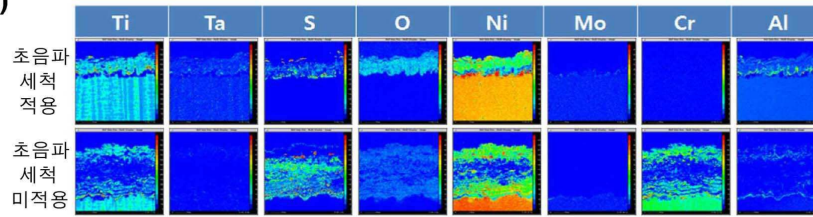


도면4

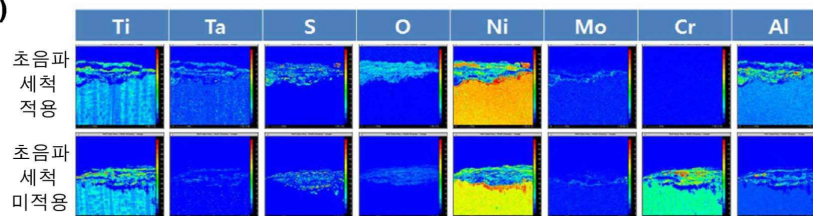
(a)



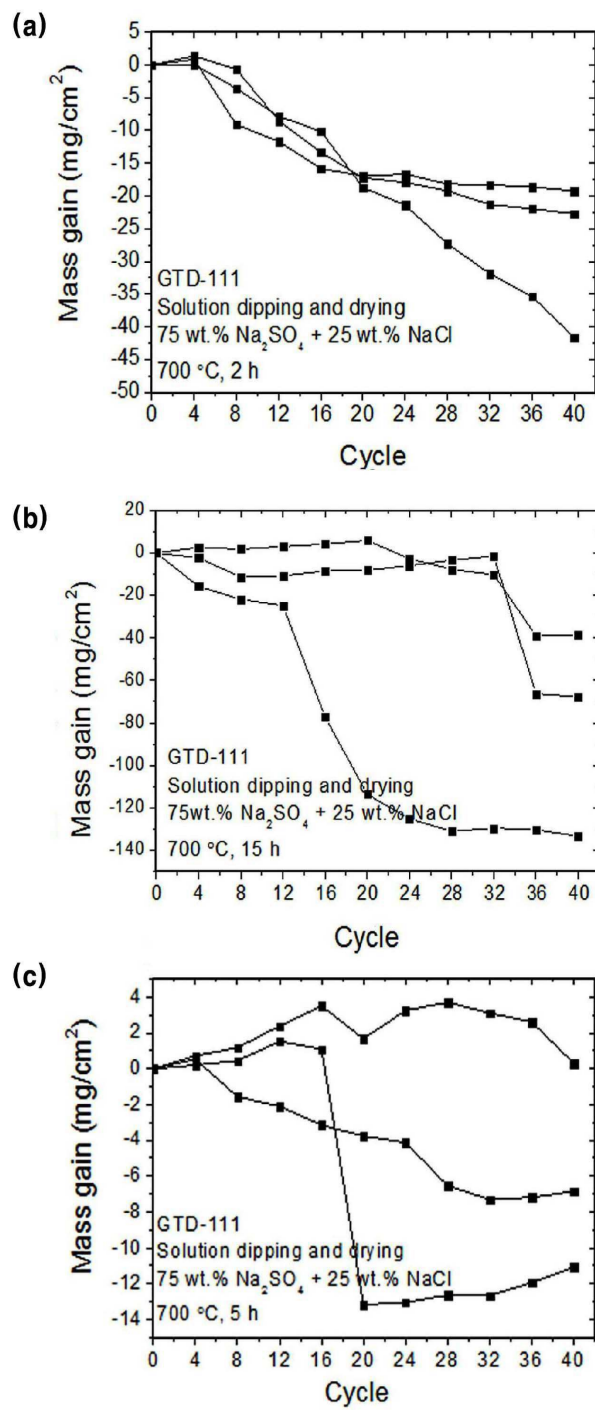
(b)



(c)



도면5



도면6

