



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2016-0057543  
 (43) 공개일자 2016년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C22C 38/14* (2006.01) *C21D 8/02* (2006.01)  
*C22C 38/08* (2006.01) *C22C 38/48* (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0158036  
 (22) 출원일자 2014년11월13일  
 심사청구일자 2014년11월13일

(71) 출원인  
**주식회사 포스코**  
 경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)  
 (72) 발명자  
**장제욱**  
 경북 포항시 남구 동해안로 6262, 내 (동촌동, (주)포스코)  
**이증형**  
 경북 포항시 남구 동해안로 6262, 내 (동촌동, (주)포스코)  
**김용우**  
 경북 포항시 남구 동해안로 6262, 내 (동촌동, (주)포스코)  
 (74) 대리인  
**특허법인씨엔에스**

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **티타늄 함유 고온 구조용 강 및 그의 제조방법**

**(57) 요약**

티타늄 함유 고온 구조용 강 및 그의 제조방법이 개시된다. 본 발명의 일 측면은, 중량%로, 탄소(C): 0.01~0.3%, 티타늄(Ti): 5.0~15.0%, 니켈(Ni): 1~10%, 알루미늄(Al): 0.01~5%, 실리콘(Si): 0.01~3%, 크롬(Cr): 0.01~5%, 니오븀(Nb): 0.01~1.0%, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강을 제공한다.

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

중량%로, 탄소(C): 0.01~0.3%, 티타늄(Ti): 5.0~15.0%, 니켈(Ni): 1~10%, 알루미늄(Al): 0.01~5%, 실리콘(Si): 0.01~3%, 크롬(Cr): 0.01~5%, 니오븀(Nb): 0.01~1.0%, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 불순물은 중량%로, 인(P): 0.02% 이하, 황(S): 0.01% 이하 및 질소(N): 0.01% 이하를 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 강의 미세조직은 면적분율로, 40~60%의 페라이트(ferrite), 10~20%의 펄라이트(pearlite) 및 20~40%의 마르텐사이트(martensite)를 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 페라이트(ferrite)의 평균입경은 10~50 $\mu$ m인 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 강의 응력-변형률 곡선으로부터 0.2% 벗어난 유동 변형력(flow stress)은 750MPa 이상인 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 강의 700 $^{\circ}$ C에서의 항복강도는 250MPa 이상이고, 700 $^{\circ}$ C에서의 연신율은 30% 이상인 티타늄 함유 고온 구조용 강.

#### 청구항 7

중량%로, 탄소(C): 0.01~0.3%, 티타늄(Ti): 5.0~15.0%, 니켈(Ni): 1~10%, 알루미늄(Al): 0.01~5%, 실리콘(Si): 0.01~3%, 크롬(Cr): 0.01~5%, 니오븀(Nb): 0.01~1.0%, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강괴를 열처리하는 단계;

상기 열처리된 강괴를 열간압연하여 열연강관을 얻는 단계; 및

상기 열연강판을 권취 및 공냉하는 단계를 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법.

**청구항 8**

제 7항에 있어서,

상기 열처리시, 열처리 온도는 1000~1100℃인 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법.

**청구항 9**

제 7항에 있어서,

상기 열처리시, 열처리 시간은 8~12시간인 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법.

**청구항 10**

제 7항에 있어서,

상기 열간압연시, 압연 온도는 1100~1250℃인 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법.

**청구항 11**

제 7항에 있어서,

상기 권취시, 권취 온도는 550~650℃인 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 티타늄 함유 고온 구조용 강 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 보일러, 증기생성기, 오븐, 열교환기, 발전기 등의 소재로 이용되는 고온 구조용 소재는 500~1000℃의 고온에서의 항복강도가 높아야 한다고 알려져 있으며, 현재 적용되고 있는 고온 구조용 소재는 주로 니켈(Ni)이나 티타늄(Ti)을 주성분으로 하는 내열합금이다. 그런데, 이러한 니켈계 혹은 티타늄계 내열합금은 기계적 물성과 화학적 물성은 매우 우수하나, 고가의 합금원소인 니켈(Ni) 또는 티타늄(Ti)을 다량 함유하기 때문에 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다.

[0003] 따라서, 고온 구조용 소재로써 Fe를 주성분으로 하는 강재의 개발이 꾸준히 이루어져 왔으며, 대표적으로는 Fe-Al계 합금, Fe-Si계 합금, Fe-Cr계 합금, Fe-Ni계 합금, Fe-Ti계 합금 등이 알려져 있다. 그런데, 이 중 Fe-Al계 합금 및 Fe-Si계 합금의 경우 조대한 규칙상이 형성되어 열간압연이 매우 어려운 단점이 있으며, Fe-Cr계 합금 및 Fe-Ni계 합금의 경우 상온 및 고온 강도가 매우 낮거나, 주조, 용해 등 통상의 강재의 제조공정에 의해서 제조가 불가능하다는 단점이 있다. 또한, Fe-Ti계 합금의 경우, 조대한 라베스(Laves) 상이 형성되어 열간압연성이 낮으며, 취성이 매우 높다는 단점이 있다.

[0004] 따라서, Fe를 주성분으로 하고 고가의 합금원소의 첨가를 최소화함으로써 경제성이 우수하면서도, 주조, 용해, 압연 등 통상의 강재의 제조방법에 의해 제조될 수 있는 고온 구조용 강의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 발명의 일 측면은 Fe를 주성분으로 하고 고가의 합금원소의 첨가를 최소화함으로써 경제성이 우수하면서도, 주조, 용해, 압연 등 통상의 강재의 제조방법에 의해 제조될 수 있는 고온 구조용 강 및 그 제조방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0006] 본 발명의 과제는 상술한 내용에 한정하지 않는다. 본 발명의 추가적인 과제는 명세서 전반적인 내용에 기재되어 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상적인 지식을 가지는 자라면 본 발명의 명세서로부터 본 발명의 추가적인 과제를 이해하는데 아무런 어려움이 없을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 발명의 일 측면은, 중량%로, 탄소(C): 0.01~0.3%, 티타늄(Ti): 5.0~15.0%, 니켈(Ni): 1~10%, 알루미늄(Al): 0.01~5%, 실리콘(Si): 0.01~3%, 크롬(Cr): 0.01~5%, 니오븀(Nb): 0.01~1.0%, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강을 제공한다.

[0008] 본 발명의 다른 일 측면은, 중량%로, 탄소(C): 0.01~0.3%, 티타늄(Ti): 5.0~15.0%, 니켈(Ni): 1~10%, 알루미늄(Al): 0.01~5%, 실리콘(Si): 0.01~3%, 크롬(Cr): 0.01~5%, 니오븀(Nb): 0.01~1.0%, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강괴를 열처리하는 단계; 상기 열처리된 강괴를 열간압연하여 열연강판을 얻는 단계; 및 상기 열연강판을 권취 및 공냉하는 단계를 포함하는 티타늄 함유 고온 구조용 강의 제조방법을 제공한다.

**발명의 효과**

[0009] 본 발명에 따른 고온 구조용 강은 Fe를 주성분으로 하고 고가의 합금원소의 첨가를 최소화함으로써 경제성이 우수한 장점이 있다.

[0010] 또한, 본 발명에 따른 고온 구조용 강은 고온 강도 및 고온 연성이 매우 우수하여, 보일러, 증기생성기, 오븐, 열교환기, 발전기 등의 소재로 바람직하게 적용될 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명에 따른 고온 구조용 강은 주조, 용해, 압연 등 통상의 강재의 제조방법에 의해 제조될 수 있는 장점이 있다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0012] 이하, 본 발명의 일 측면인 티타늄 함유 고온 구조용 강에 대하여 상세히 설명한다. 먼저, 강의 합금조성 및 성분범위에 대하여 상세히 설명한다.

[0013] 탄소(C): 0.005~0.3중량%

[0014] 탄소는 강의 강도 확보를 위해 첨가되는 필수적인 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 얻기 위해서는 0.005중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 0.008중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 0.01중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 다만, 그 함량이 과다할 경우, 카바이드 석출물을 지나치게 형성하여 석출물과의 상간 정합성을 저하시켜 열간압연성 및 상온연성이 저하되며, 또한 입내에 강도를 급격히 증가시켜 연성을 감소시키는 문제가 있다. 따라서, 상기 탄소 함량의 상한은 0.3중량%인 것이 바람직하며, 0.2중량%인 것이 보다 바람직하며, 0.1중량%인 것이 보다 더 바람직하다.

- [0015] 티타늄(Ti): 5.0~15.0중량%
- [0016] 티타늄은 강의 내식성 및 고온 특성을 확보하기 위해 필수적으로 첨가되는 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 얻기 위해서는 5.0중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 6.0중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 8.0중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 다만, 그 함량이 과다할 경우, 중간상 및 조대한 라베스(Laves) 상이 형성되어 열간압연성을 저하시키고, 취성을 증가시키는 문제가 있다. 따라서, 상기 티타늄 함량의 상한은 15.0중량%인 것이 바람직하며, 13.0중량%인 것이 보다 바람직하며, 12.0중량%인 것이 보다 더 바람직하다.
- [0017] 니켈(Ni): 1.0~10.0중량%
- [0018] 니켈은 티타늄 다량 첨가로 인해 발생하는 강의 열간압연성 저하를 방지하기 위해 첨가되는 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 1.0중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 2.0중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 3.0중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 다만, 그 함량이 과다할 경우, 경제성이 저하될 뿐만 아니라 규칙상의 형성을 조장하는 문제가 있다. 따라서, 상기 니켈 함량의 상한은 10.0중량%인 것이 바람직하며, 8.0중량%인 것이 보다 바람직하며, 7.0중량%인 것이 보다 더 바람직하다.
- [0019] 알루미늄(Al): 0.01~5.0중량%
- [0020] 알루미늄은 강의 강도를 향상시키기 위해 첨가되는 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 0.1중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 0.8중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 다만, 그 함량이 과다할 경우, Fe, Mn 및 C와 결합하여 카파 카바이드 석출물을 형성하거나, Fe 내에 고용되어 Fe-Al 규칙상인 B2상 혹은 D03상을 형성하여 열간압연성을 저하시키는 문제가 있다. 따라서, 상기 알루미늄 함량의 상한은 5.0중량%인 것이 바람직하며, 4.0중량%인 것이 보다 바람직하며, 3.0중량%인 것이 보다 더 바람직하다.
- [0021] 실리콘(Si): 0.01~3.0중량%
- [0022] 실리콘은 강의 강도 향상 및 고온에서 페라이트 상의 안정화를 위한 목적으로 첨가되는 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 0.05중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 0.1중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 반면, 그 함량이 과다할 경우, Fe 내에 고용되어 Fe-Si 규칙상인 B2상 혹은 D03상을 형성하여 열간압연성을 저하시키는 문제가 있다. 따라서, 상기 실리콘 함량의 상한은 3.0중량%인 것이 바람직하며, 2.0중량%인 것이 보다 바람직하며, 1.0중량%인 것이 보다 더 바람직하다.
- [0023] 크롬(Cr): 0.01~5.0중량%
- [0024] 크롬은 규칙상의 형성을 억제하여 강의 연성을 향상시키기 위하여 첨가되는 원소이다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 0.03중량% 이상 포함되는 것이 보다 바람직하며, 0.05중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 반면, 그 함량이 과다할 경우, 열간압연성이 저하되고, 상온 연성 및 충격인성이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 상기 크롬 함량의 상한은 5.0중량% 이상인 것이 바람직하며, 3.0중량%인 것이 보다 바람직하며, 0.5중량%인 것이 보다 더 바람직하다.
- [0025] 니오븀(Nb): 0.01~1.0중량%
- [0026] 니오븀은 강의 고온 강도를 향상시키기 위하여 첨가되는 원소이다. 뿐만 아니라, 니오븀은 페라이트 안정화 원소로써, 강의 미세조직으로 일정 분율의 페라이트를 형성시켜, 강의 강도 및 연성 향상에 도움을 준다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하며, 0.03중량% 이상 포함되는 것

이 보다 바람직하며, 0.05중량% 이상 포함되는 것이 보다 더 바람직하다. 반면, 그 함량이 과다할 경우, Nb 석출물의 과다 형성으로 인해 강의 연성 및 충격 특성이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 상기 니오븀 함량의 상한은 1.0중량% 이상인 것이 바람직하며, 0.8중량%인 것이 보다 바람직하며, 0.5중량%인 것이 보다 더 바람직하다.

[0027] 본 발명의 나머지 성분은 철(Fe)이다. 다만, 통상의 제조과정에서는 원료 또는 주위 환경으로부터 의도되지 않는 불순물들이 불가피하게 혼입될 수 있으므로, 이를 배제할 수는 없다. 이들 불순물들은 통상의 제조과정의 기술자라면 누구라도 알 수 있는 것이기 때문에 그 모든 내용을 특별히 본 명세서에서 언급하지는 않는다.

[0028] 다만, 그 중에서, 인, 황 및 질소는 일반적으로 많이 언급되는 불순물이기 때문에 이에 대하여 간략히 설명하면 다음과 같다.

[0029] 인(P): 0.02중량% 이하

[0030] 인은 불가피하게 함유되는 불순물로서, 결정립계에 편석되어 강의 인성을 저하시키는데 주요 원인이 되는 원소이므로, 그 함량을 가능한 한 낮게 제어하는 것이 바람직하다. 이론상 인의 함량은 0%로 제한하는 것이 유리하나, 제조공정상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서, 상한을 관리하는 것이 중요하며, 본 발명에서는 상기 인 함량의 상한을 0.02중량%로 관리한다.

[0031] 황(S): 0.01중량% 이하

[0032] 황은 불가피하게 함유되는 불순물로서, 열간취성을 유발하는 주요 원인이 되는 원소이므로, 그 함량을 가능한 한 낮게 제어하는 것이 바람직하다. 이론상 황의 함량은 0%로 제한하는 것이 유리하나, 제조공정상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서, 상한을 관리하는 것이 중요하며, 본 발명에서는 상기 황 함량의 상한을 0.01중량%로 관리한다.

[0033] 질소(N): 0.01중량% 이하

[0034] 질소는 불가피하게 함유되는 불순물로서, 그 함량이 과다할 경우 강의 연성을 저하시키며, 중간상을 형성하여 열간압연성을 저하시키는 문제가 있다. 이론상 질소의 함량은 0%로 제한하는 것이 유리하나, 제조공정상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서, 상한을 관리하는 것이 중요하며, 본 발명에서는 상기 질소 함량의 상한을 0.01중량%로 관리한다.

[0035] 이하, 강의 바람직한 미세조직에 대하여 상세히 설명한다.

[0036] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 강의 미세조직은 면적분율로, 40~60%의 페라이트(ferrite), 10~20%의 펄라이트(pearlite) 및 20~40%의 마르텐사이트(martensite)를 포함할 수 있다. 상기와 같은 미세조직을 확보함으로써, 700℃의 고온에서 250MPa 이상의 항복강도와 30% 이상의 연신율을 확보할 수 있다.

[0037] 또한, 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 조직 중 페라이트의 평균입경은 50 $\mu$ m 이하일 수 있다. 만약, 페라이트의 평균입경이 50 $\mu$ m를 초과하는 경우에는 고온 항복강도 미달이 발생할 우려가 있다. 한편, 함께 형성되는 펄라이트 및 마르텐사이트의 평균입경은 상기 페라이트의 평균입경에 영향을 받기 때문에 따로 제한하지는 않는다. 이론적으로는 페라이트의 평균입경을 작게 하면 할수록 유리할 것이나, 공업적으로 10 $\mu$ m 미만으로 제어하는 것은 용이하지 않으므로 상기 페라이트의 평균입경의 하한은 10 $\mu$ m로 정한다. 이때, 상기 평균입경은, 강판의 단면을 관찰하여 검출한 입자의 평균 원 상당 직경(equivalent circular diameter)을 의미한다.

[0038] 본 발명의 고온 구조용 강은 상온 항복강도가 매우 우수한 장점을 가진다. 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기

강의 응력-변형을 곡선으로부터 0.2% 벗어난 상온 유동 변형력(flow stress)는 750MPa 이상일 수 있다. 여기서, 상기 유동 변형력 측정 기준 온도는 25℃이다.

- [0039] 또한, 본 발명의 고온 구조용 강은 고온 강도 및 고온 연성이 매우 우수하여, 보일러, 증기생성기, 오븐, 열교환기, 발전기 등의 소재로 바람직하게 적용될 수 있다. 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 강은 700℃에서의 항복강도는 250MPa 이상이고, 700℃에서의 연신율은 30% 이상일 수 있다.
- [0040] 이상에서 설명한 본 발명의 고온 구조용 강은 다양한 방법으로 제조될 수 있으며, 그 제조방법은 특별히 제한되지 않는다. 다만, 그 일 구현예로써 다음과 같은 방법에 의하여 제조될 수 있다.
- [0041] 이하, 본 발명의 다른 일 측면인 고온 구조용 강의 제조방법에 대하여 상세히 설명한다.
- [0042] 진술한 조성을 만족하는 강괴를 1000~1100℃의 온도에서 8~12시간 동안 열처리한다. 본 단계는 미세조직을 균질하게 하기 위한 단계이다. 종래의 Fe를 주성분으로 하는 내열합금의 경우, 미세조직 균질화 및 안정화를 위해 약 500시간 이상의 긴 열처리 과정이 요구되었으나, 본 발명의 고온 구조용 강은 Ti 및 Ni 함량을 적절히 제어하여 10시간 내외의 열처리만으로도 목적하는 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.
- [0043] 이때, 열처리 온도는 1000~1100℃인 것이 바람직하다. 만약, 열처리 온도가 1000℃ 미만인 경우 조직 안정화가 미흡할 우려가 있으며, 1100℃를 초과할 경우 상분리와 더불어 규칙상이 형성될 우려가 있다.
- [0044] 또한, 열처리 시간은 8시간 이상인 것이 바람직하다. 만약, 열처리 시간이 8시간 미만일 경우에는 조직 안정화가 미흡할 우려가 있다. 상기 열처리 시간의 상한은 기술적으로는 특별히 제한할 필요는 없으며, 다만 에너지 소비 및 공정 비용 등 경제적인 측면에서, 예를 들면 12시간 이내로 제한될 수는 있다.
- [0045] **열간압연 단계**
- [0046] 이후, 열처리된 강괴를 열간압연하여 열연강판을 얻는다. 본 단계는 재질 및 형상 확보를 위한 단계이다. 종래의 Fe-Ti계 합금의 경우, 조대한 라베스(Laves) 상의 형성으로 인해 열간압연에 의한 제도가 곤란하였으나, 본 발명의 강은 Ti 함금조성이 적절히 제어되어 열간압연을 통해 강을 제조할 수 있는 장점이 있다.
- [0047] 이때, 열간압연 온도는 1100~1250℃인 것이 바람직하다. 만약, 열처리 온도가 1100℃ 미만인 경우 조직이 경하여 열간 압연성이 저하될 우려가 있으며, 1250℃를 초과할 경우 형상 불량이 발생할 우려가 있다.
- [0048] **권취 및 공냉 단계**
- [0049] 상기 열연강판을 권취한다. 이때, 권취온도는 550~650℃인 것이 바람직하다. 만약, 권취온도가 550℃ 미만인 경우 페라이트 조직의 변형이 발생할 우려가 있으며, 650℃를 초과할 경우 입계 크기가 과도하게 커질 우려가 있다.
- [0050] 상기와 같이 권취된 열연강판을 공냉한다. 이때, 공냉 방법은 특별히 한정되는 것은 아니며, 당업계에서 통상적으로 사용되는 조건으로 실시되면 충분하다.
- [0051] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 다만, 하기하는 실시예는 본 발명을 예시하여 구

체화하기 위한 것일 뿐, 본 발명의 권리범위를 제한하기 위한 것이 아니라는 점에 유의할 필요가 있다. 본 발명의 권리범위는 특허청구범위에 기재된 사항과 이로부터 합리적으로 유추되는 사항에 의하여 결정되는 것이기 때문이다.

[0052] (실시예)

[0053] 진공 유도 용해에 의해 하기 표 1의 조성을 가지는 강괴(두께 8mm, 폭 35mm, 길이 100mm)를 준비하였다. 상기 강괴를 1050℃의 온도에서 8시간 재가열을 실시한 후, 1150℃의 온도에서 열간압연하여 열연강판을 얻었다. 상기 열연강판을 600℃의 온도에서 권취하고, 상온까지 공냉하였다.

[0054] 이후, 상온 인장시험과 700℃ 고온 인장시험을 실시하였으며, 광학 현미경 실험으로 미세조직의 종류 및 상분을 그리고 페라이트 평균 입경을 얻었다.

표 1

[0055]

구분	합금 조성(중량%)									
	C	Ti	Ni	Al	Si	Cr	P	S	N	Nb
발명예1	0.012	10.52	5.34	0.85	0.21	0.22	0.0089	0.0047	0.0048	0.12
발명예2	0.014	10.13	5.63	0.95	0.35	0.16	0.0106	0.0047	0.0050	0.08
발명예3	0.015	11.34	5.25	1.21	0.45	0.27	0.0123	0.0036	0.0060	0.15
발명예4	0.012	9.67	5.87	1.12	0.58	0.17	0.0112	0.0041	0.0051	0.12
발명예5	0.011	10.53	4.21	1.33	0.62	0.09	0.0089	0.0055	0.0063	0.13
발명예6	0.018	9.89	5.13	1.46	0.57	0.21	0.0099	0.0057	0.0047	0.09
비교예1	0.012	16.67	5.45	1.26	0.32	0.19	0.0108	0.0068	0.0047	0.24
비교예2	0.013	10.65	0.03	1.24	0.55	0.51	0.0090	0.0059	0.0049	0.14
비교예3	0.011	11.27	5.65	11.51	0.38	0.61	0.0081	0.0048	0.0046	0.19
비교예4	0.012	10.31	5.34	1.11	0.45	0.38	0.0104	0.0055	0.0056	0.003
비교예5	0.013	10.94	4.12	1.28	0.53	0.59	0.0102	0.0056	0.0055	0.004
비교예6	0.013	11.26	5.67	1.01	4.32	0.58	0.0093	0.0054	0.0033	0.12

표 2

[0056]

구분	미세조직		물성			
	조직 분율 (면적%)	페라이트 평균 입경(μm)	열간압연성	상온 항복강도(MPa)	700℃ 항복강도(MPa)	700℃ 연신율(%)
발명예1	F54+P14+M32	23	0	832	277	32
발명예2	F49+P15+M36	27	0	812	273	33
발명예3	F47+P18+M35	25	0	831	281	33
발명예4	F49+P17+M34	29	0	829	277	34
발명예5	F44+P19+M37	26	0	817	270	35
발명예6	F52+P13+M35	21	0	845	273	36
비교예1	X	X	X	X	X	X
비교예2	X	X	X	X	X	X
비교예3	X	X	X	X	X	X
비교예4	F59+P3+M38	34	△	640	95	23
비교예5	F58+P3+M39	38	△	621	104	22
비교예6	X	X	X	X	X	X

상기 조직 분율에서, F는 페라이트, P는 펄라이트, M은 마르텐사이트를 의미함.  
 상온 항복강도는, "강의 응력 변형률 곡선으로부터 0.2% 벗어난 유동 변형력(flow stress)"을 의미함(측정 기준 온도는 25℃임).

[0057] 표 2를 참조하면, 본 발명이 제안하는 합금조성 및 제조조건을 만족하는 발명예 1 내지 6의 경우, 열간압연성이

우수할 뿐만 아니라, 고온 항복강도 및 고온 연성이 모두 우수함을 확인할 수 있다.

- [0058] 반면, 비교예 1의 경우, Ti 함량이 과다하여 조대한 라베스상 및 규칙상 형성되었으며, 이로 인해 열간압연이 불가능하였다. 비교예 2의 경우, Ni 함량이 부족하여 Ti에 의해 형성되는 조대한 라베스상 및 규칙상의 형성을 충분히 억제할 수 없었으며, 이로 인해 열간압연이 불가능하였다. 비교예 3의 경우, Al 함량이 과다하여 조대한 규칙상이 형성되었으며, 이로 인해 열간압연이 불가능하였다. 비교예 4 및 5는 열간압연은 가능하나, Nb 함량이 부족하여 펄라이트 상분율이 부족하며, 이로 인해 고온 강도 및 고온 연성이 열화되었다. 비교예 6의 경우, Si 함량이 과다하여 조대한 규칙상과 중간상이 형성되었으며, 이로 인해 열간압연이 불가능하였다.