

(19)대한민국특허청(KR) (12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. ⁷ C22C 38/18	(45) 공고일자 2005년08월30일 (11) 등록번호 10-0510979 (24) 등록일자 2005년08월22일
--	--

(21) 출원번호 10-2003-7000133 (22) 출원일자 2003년01월04일 번역문 제출일자 2003년01월04일 (86) 국제출원번호 PCT/JP2002/004446 국제출원일자 2002년05월07일	(65) 공개번호 10-2003-0011148 (43) 공개일자 2003년02월06일 (87) 국제공개번호 WO 2002/090610 국제공개일자 2002년11월14일
---	--

(81) 지정국

국내특허 : 중국, 대한민국, 미국,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 터키,

(30) 우선권주장 JP-P-2001-00138624 2001년05월09일 일본(JP)

(73) 특허권자 스미토모 긴조쿠 고교 가부시키키가이샤
일본국 오사카후 오사카시 추오구 기타하마 4-5-33

(72) 발명자 히라타히로유키
일본국오사카후오사카시추오구기타하마4초메5반33고스미토모긴조쿠
고교가부시키키가이샤나이

오가와카즈히로
일본국오사카후오사카시추오구기타하마4초메5반33고스미토모긴조쿠
고교가부시키키가이샤나이

(74) 대리인 특허법인 원전

심사관 : 김수성

(54) 페라이트계 내열강

요약

용접 커플링의 용접열 영향부에 있어서 크리프 강도저하가 작은 페라이트계 내열강에서, 질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상에서 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지며, 강중에 함유되는 입자경이 0.3 μ m 이상의 탄화물 및 탄 질화물의 석출밀도가 1 $\times 10^6$ 개 /mm² 이하이다. 상기 강은 다시 합계로 0.1 ~ 5.0%인 Mo 및 W, 합계로 0.02 ~ 5.00%인 Cu, Ni 및 Co, 합계로 0.01 ~ 0.20%인 Ta, Hf, Nd 및 Ti, 합계로 0.0005 ~ 0.0100%인 Ca 및 Mg, 또한 0.0005 ~ 0.0100%인 B, 중으로부터 선택된 1종 이상을 함유해도 좋다.

명세서

기술분야

본 발명은, 용접열 영향부의 연화(軟化)가 작은 페라이트계 내열강에 관한 것이다.

배경기술

보일러, 화학장치 등의 내열, 내압배관에 사용되는 고온재료로서는, 2·1/4Cr-1Mo강으로 대표되는 저 Cr 페라이트강, 9Cr-1Mo강으로 대표되는 고 Cr 페라이트강, 18Cr-8Ni강으로 대표되는 오스테나이트계 스테인레스강이 있다.

그 중에서도, 고 Cr 페라이트강은, 저 Cr 페라이트강에 비하여, 500 ~ 600℃의 온도영역에서의, 강도와 내식성이 우수하다. 또한, 고 Cr 페라이트강은, 오스테나이트계 스테인레스강에 비하여, 저렴한 가격이고, 내응력 부식 균열성이 우수하다. 더욱이, 고 Cr 페라이트강은, 열팽창계수가 작으므로, 온도변화에 따른 변형이 작다. 이와 같이, 고 Cr 페라이트강은 고온용 재료로서 이점이 많으므로, 널리 이용되고 있다.

최근, 사용환경의 과혹(過酷)화에 따라, 페라이트계 내열강에 요구되는 사용성능 특히, 크리프 강도에 대한 요구가 한층 엄격하게 되고 있다. 그 때문에, 8 ~ 13%의 Cr을 함유하는 페라이트강을 베이스로 Mo, W, Nb, V, 또한 Co, Ta, Nd, Zr, B 등의 함유량을 조정하여 고온강도를 높인 새로운 페라이트계 내열강이나 그 열처리 방법이 수많은 제안되어 있다(예를 들면, 일본 특개평2-310340호, 일본 특개평4-6213호, 일본 특개평4-350118호, 일본 특개평4-354856호, 일본 특개평5-263196호, 일본 특개평5-311342~311346호의 각 공보, 참조).

페라이트계 내열강을 용접구조물로서 사용하는 경우에는, 예를 들면, 「Science and Technology of Welding and Joining, 1996, Vol. 1, No. 1, p. 36 ~ 42」에 나타나 있는 바와 같이 용접 커플링의 용접열 영향부(HAZ)에서 크리프 강도가 20% 이상이나 저하하는, 소위 「HAZ 연화현상」이 일어나는 것이 알려져 있다.

그러나, 상기의 각 공보에 개시된 페라이트계 내열강은, 모재의 크리프 강도나 인성을 향상시키는 것을 주된 목적으로 하고 있으며, HAZ 연화현상에 따른 용접 커플링의 크리프 강도저하가 전혀 고려되고 있지 않다.

HAZ 연화현상을 억제한 페라이트계 내열강이나 그 제조방법에 대해서도 많이 제안되어 있다(예를 들면, 일본 특개평5-43986호, 일본 특개평6-65689호, 일본 특개평7-242935호, 일본 특개평8-85848호, 일본 특개평8-337813호, 일본 특개평9-13150호, 일본 특개평9-71845호 및 일본 특개평11-106860호의 각 공보, 참조).

그러나, 이들의 각 공보에 개시된 페라이트강 이나 그 제조방법은, 예를 들면, 일본 특개평7-242935호 공보나 일본 특개평8-337813호 공보에 나타난 바와 같이, 특수한 용해방법이나 가공열처리 등을 필요로 하므로, 제조비용의 상승이나 제조능률의 저하를 초래한다고 하는 문제가 있다. 또한, 일본 특개평6-65689호 공보, 일본 특개평8-85848호 공보 및 일본 특개평9-71845호 공보에 개시된 강은, 산화 Ta 입자나 Ta, Nd, Hf 등의 고가인 원소를 필수성분으로서 함유하므로, 제조비용의 상승을 초래하는 등의 문제가 있다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 목적은, 특수한 용제나 가공열처리 등을 행할 필요가 없고, 또한 고가인 산화 Ta 입자나 Ta, Nd, Hf 등을 반드시 첨가하지 않아도 좋은 내열강으로서, 용접 커플링의 용접열 영향부에서의 크리프 강도저하가 작은 염가의 페라이트계 내열강을 제공하는 데 있다.

본 발명의 페라이트계 내열강은 하기의 (A) 및 (B)를 특징으로 한다.

(A) 화학조성이, 질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.05% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하로서, 잔부는 Fe 및 불순물인 것.

(B) 강 중에 함유되는 입경이 0.3 μ m 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1 $\times 10^6$ 개/mm² 이하인 것.

본 발명의 페라이트계 내열강은, 상기 (A)의 화학조성인 Fe의 일부에 대신하여 하기의 제 1 그룹으로부터 제 5 그룹까지의 적어도 1 그룹 중에서 선택되는 1종이상의 성분을 함유하는 것이라도 좋다.

제 1 그룹 : 질량%로, 합계 0.1 ~ 5.0%의 Mo 및 W.

제 2 그룹 : 질량%로, 합계 0.02 ~ 5.00%의 Cu, Ni 및 Co.

제 3 그룹 : 질량%로, 합계 0.01 ~ 0.20%의 Ta, Hf, Nd 및 Ti.

제 4 그룹 : 질량%로, 합계 0.0005 ~ 0.0100%의 Ca 및 Mg.

제 5 그룹 : 질량%로, 0.0005 ~ 0.0100%의 B.

발명자들은, 용접 시의 열 사이클에 의한 조직변화에 착안하여 실험, 검토를 반복한 결과, 이하의 새로운 사실을 얻어 상기의 본 발명을 완성시켰다.

먼저, HAZ 연화현상은 다음과 같은 메커니즘으로 일어나는 것이 분명하다. 즉, 모재의 제조 시에는, $M_{23}C_6$ 형 탄화물(상기 경우의 M은 Cr, Mo, W 등의 금속원소) 또는 MX형 탄질화물(이 경우의 M은 V, Nb 등의 금속원소, X는 C 및 N)이 석출한다. 이 중, Cr을 다량으로 고용하는 $M_{23}C_6$ 형 탄화물은, MX형 탄질화물에 비하여 조대(粗大)하며, 용접 시의 열사이클에 의해, 그 일부가 분해하여 매트릭스에 고용되고, 그 후의 열처리(용접후의 열처리) 및 크리프의 초기과정에서, $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 일부가 고용된 매트릭스의 영역으로부터, 과포화로 고용(固溶)된 Cr이 다시 미세하게 석출된다. 그 때문에, 용접 열 사이클을 겪지 않는 모재(상기 모재에서는 탄화물의 일부 고용이 일어나지 않는다)나, HAZ 연화가 발생하지 않는 부분(상기 부분에서는 탄화물의 일부 고용이 일어나지 않거나, 또는 탄화물이 완전하게 분해 고용된다)에 비하면, HAZ에서는 Cr을 주체로 한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 석출속도 및 크기가 불균일 하게 된다. 그 후, 사용 중에, 상기 과포화로 고용된 Cr의 석출이 완료하고, 모상(母相)의 Cr 농도가 평형온도에 도달한 후에는, 미세한 입자의 소멸에 의해 입자가 조대화 하므로, Cr을 주체로 한 미세한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물이 소실되고, Cr이 그 주위의 $M_{23}C_6$ 형 탄화물에 공급되어 그 성장을 재촉하든지, 또는 MX형 탄질화물을 핵으로 재 석출하여 성장하므로, $M_{23}C_6$ 형 탄화물 및 MX형 탄질화물 전체의 성장속도가 커지게 된다. 그 결과, 강화에 크게 기여하는 MX형 탄질화물에 의한 미세 분산강화의 효과가 조기에 상실되어, 강도저하가 생긴다.

상술한 사실을 기초로하여, HAZ 연화의 방지방법에 대하여 상세히 검토한 결과, HAZ 연화 방지에는 하기의 대책이 유효하다는 것이 확인되었다.

(a) 용접 전에 강 중에 존재하는 조대한 석출물(주로 Cr을 함유하는 $M_{23}C_6$ 형 탄화물)의 석출량을 줄여서, 용접열 사이클에 의한 부분고용에 기인하는 석출물의 크기 불균일을 해소한다.

(b) 조대한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 석출량을 감소시키기 위해서는, Cr의 활량(活量)을 낮추는 C와 N의 함유량을 최대한 적게 하는 것이 매우 유효하다.

(c) C와 N의 함유량의 저감은, 모상(母相)의 평형 Cr 농도를 상승시킨다. 그리고, 사용 중에 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 석출이 완료하고, 모상의 Cr 농도가 평형 농도에 도달한 후의 석출물($M_{23}C_6$ 형 탄화물 및 MX형 탄질화물)의 조대화(粗大化) 과정에서, 그 성장속도를 늦추는 데에 유효하다.

구체적으로는, 용접 전의, 모재 강 중에 함유되는 입경(장경(長徑))이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 석출밀도를 1×10^6 개/ mm^3 이하로 하는 것과, 및 C와 N의 함유량을 모두 0.05% 미만으로 하는 것에 의해 HAZ에서의 강도저하를 방지할 수 있는 것이 확인되었다.

또한, 상기 (a), (b) 및 (c)의 사실은, 크리프 강도 확보를 위하여, C 와 N을 적극적으로 첨가할 필요가 있다고 하는 전술한 일본 특개평5-43986호 및 일본 특개평8-85848호의 각 공보에 개시된 발명의 기술적 사상이나, 미세한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물(구체적으로는 $Cr_{23}C_6$)을 다량으로 석출시킬 필요가 있다고 하는 일본 특개평 7-242935호 공보에 개시된 발명의 기술적 사상과는 전혀 다른 것이다.

(발명을 실시하기 위한 최적의 형태)

본 발명의 페라이트계 내열강은, 상기의 (A) 및 (B)를 만족하는 것을 특징으로 한다. 화학조성 및 $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형의 탄질화물의 크기와 그 석출밀도를 특정한 이유는 다음과 같다. 또한, 이하에 있어서, 「%」는 「질량 %」를 의미한다.

I. 화학조성

C : 0.05% 미만

종래, C 는 $M_{23}C_6$ 형 탄화물을 형성하고, 고온강도의 확보에 기여하는 원소라고 말해져 왔다. 그러나, $M_{23}C_6$ 형 탄화물은, 전술한 바와 같이, 용접에 의해 일부 고용되고, 그 후의 열처리 및 크리프 초기과정에서 조대한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물로 되어 재석출함으로써 크기의 불균일을 초래하고, HAZ 연화의 원인으로 된다. 이 때문에, 용접전의 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 석출량을 저감하고, HAZ의 장시간 강도를 확보하는, 즉, HAZ 연화를 방지하기 위해서는, C 함유량은 최대한 저감하는 것이 유효하다. 따라서, C 함유량은 0.05% 미만으로 한다. 바람직하게는 0.045% 이하이다. 또한, 하한은 규정하지 않는다. 그러나, C 는 MX형 탄질화물을 형성하고, 그 미세 분산강화의 효과를 얻는 데 유효한 원소이며, 그 효과는 0.001% 이상에서 얻어지므로, 그 효과를 얻고 싶은 경우에는 0.001% 이상 함유시켜도 좋다.

Si : 1.0% 이하

Si는, 제강 시에 탈산제로서 첨가된다. 또한, Si는 내산화성, 내고온부식성을 향상시키는 원소이다. 그러나, 과잉 첨가는 크리프 취화 및 인성의 저하를 초래한다. 이 때문에, Si 함유량은 1.0% 이하로 했다. 바람직한 것은 0.8% 이하이다. 또한, Si 는, 후술하는 Mn 이나 Al에 의해 탈산이 충분히 행해지는 경우에는 반드시 적극적으로 첨가할 필요는 없으므로 Si 함유량의 하한은 특별히 정해져 있지 않다. 그러나, Si에 의한 탈산효과를 확실하게 얻기 위해서는 0.03% 이상 함유시키는 것이 바람직하다.

Mn : 2.0% 이하

Mn 은, 상기의 Si 와 마찬가지로, 제강 시에 탈산제로서 첨가된다. 또한, Mn은, 오스테나이트 형성원소로서, 마르텐사이트 조직을 얻는 데 유효한 원소이다. 그러나, 과잉으로 함유되면 크리프 취화가 생기고, 크리프 강도의 저하를 초래한다. 이 때문에, Mn 함유량은 2.0% 이하로 했다. 바람직한 것은 1.8% 이하이다. 또한, Mn은, 상기의 Si 나 후술하는 Al에 의해 탈산이 충분히 행해지는 경우에는 반드시 적극적으로 첨가할 필요는 없으므로 하한은 정해져 있지 않다. 그러나, Mn에 의한 탈산효과를 확실하게 얻기 위해서는 0.03% 이상 함유시키는 것이 바람직하다.

P : 0.030% 이하

P는, 강 중에 함유되는 불순물 원소이며, 과잉으로 포함되면 입계 취화의 원인으로 된다. 이 때문에, 그 상한을 0.030%로 했다. P 함유량은 낮으면 낮을 수록 바람직하다.

S : 0.015% 이하

S는, 상기 P와 마찬가지로, 강 중에 함유되는 불순물 원소이며, 과잉으로 함유되면 입계 취화의 원인으로 된다. 이 때문에, 그 상한을 0.015%로 했다. S 함유량도 낮으면 낮을수록 바람직하다.

Cr : 7 ~ 14%

Cr은, 고온에서의 내산화성, 내고온부식성, 고온강도의 확보에 유효한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 7% 이상의 함유량이 필요하다. 그러나, 과잉 첨가는 Cr을 주체로 하는 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 생성량을 증가시킴과 동시에, 탄화물의 성장속도를 촉진시키고, HAZ에서의 크리프 강도의 저하를 초래한다. 이 때문에, Cr 함유량의 상한은 14%로 했다. 바람직한 것은 8 ~ 13% 이다.

V : 0.05 ~ 0.40%

V는, 미세하며, 더욱이 고온에 있어서도 안정한 MX형 탄질화물을 형성하고, 크리프 강도의 향상에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 0.05% 이상의 함유량이 필요하다. 그러나, 그 함유량이 0.40%를 초과하면, MX형 탄질화물의 조대화를 초래하고, 그 미세 분산에 의한 강도 향상효과를 조기에 잃어버림과 동시에, 인성저하를 초래한다. 이 때문에, V 함유량의 상한은 0.40%로 했다. 바람직한 것은 0.10 ~ 0.30%이다.

Nb : 0.01 ~ 0.10%

Nb는, 상기의 V와 마찬가지로, 미세하고, 또한 고온에 있어서도 안정한 MX형 탄질화물을 형성하고, 크리프 강도의 향상에 기여한다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 0.01% 이상의 함유량이 필요하다. 그러나, 0.10%를 초과하면, MX형 탄질화물의 조대화를 초래하고, 그 미세 분산에 의한 강도향상 효과가 조기에 상실됨과 동시에, 인성저하를 초래한다. 이 때문에, Nb 함유량의 상한은 0.10%로 했다. 바람직한 것은 0.02 ~ 0.08% 이다.

N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만

N은, 상기의 C와 마찬가지로, CR의 활량을 낮추는 효과가 있고, $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 석출을 촉진하고, HAZ 연화를 촉진한다. 따라서 N은 최대한 저감하는 것이 유효하므로, N 함유량의 상한은 0.05% 미만으로 했다.

한편, N은 V나 Nb가 고용하는 MX형 탄질화물을 형성하고, 상기 미세 분산 강화의 효과를 발휘하는 원소이며, 그 효과를 얻기 위해서는 0.001% 이상의 함유량이 필요하다. 이러한 이유에서, N 함유량은 0.001% 이상, 0.050% 미만으로 했다. 바람직한 것은 0.003 ~ 0.045% 이다.

sol.Al : 0.010% 이하

Al은, 제강 시에 탈산제로서 첨가되지만, 과잉 첨가는 청정도의 저하를 초래한다. 이 때문에, Al은, sol. Al 함유량으로 0.010% 이하로 했다. 바람직한 것은 0.008% 이하이다. 또한, Al은, 전술한 Si나 Mn에 의해 탈산이 충분하게 행해지는 경우에는 반드시 적극적으로 첨가할 필요는 없으므로 Al의 함유량의 하한은 특별히 정해져 있지 않다. 그러나, Al에 의한 탈산효과를 확실하게 얻기 위해서는 sol. Al 함유량으로 0.003% 이상으로 하는 것이 바람직하다.

O(산소) : 0.010% 이하

O(산소)는, 강 중에 함유되는 불순물 원소이고, 과잉 함유되면 청정도의 저하를 초래함과 동시에 크리프 강도의 저하를 초래한다. 따라서, O 함유량은 0.010% 이하로 했다. O 함유량은 낮으면 낮을 수록 좋다.

이상의 합금원소 및 불순물 외는, 실질적으로 Fe이지만, 필요에 따라서 Fe의 일부에 대신하여 이하의 성분을 첨가해도 좋다.

Mo, W :

이들 원소는 반드시 적극적으로 첨가하지 않아도 좋다. 첨가하면, Mo 및 W 모두 매트릭스를 고용강화함과 동시에 금속 간화합물로서 석출하고, 크리프 강도의 향상에 기여한다. 이 때문에, 상기 효과를 얻고자 하는 경우에는 1종 이상을 적극적으로 첨가해도 좋으며, 상기 효과는 합계로 0.1% 이상의 함유량에서 현저하게 된다. 그러나, 합계 함유량이 5.0%를 초과하면 조대한 금속간화합물의 양이 증가하고, 인성저하를 초래한다. 따라서, 첨가하는 경우에 이들 원소의 함유량은 합계로 0.1 ~ 5.0%로 하는 것이 좋다. 바람직한 것은 합계로 0.5 ~ 4.5% 이다.

Cu, Ni, Co :

이들의 원소는 반드시 적극적으로 첨가하지 않아도 좋다. 모두 오스테나이트 생성원소이므로, 첨가하면 매트릭스의 마르텐사이트화에 기여한다. 이 때문에 그 효과를 얻고자 할 때는 1종 이상을 적극적으로 첨가해도 좋다. 상기의 효과는 합계로 0.02% 이상의 함유량에서 현저하게 된다. 그러나, 합계 함유량이 5.00%를 초과하면, 크리프 연성의 현저한 저하를 초래한다. 따라서, 첨가하는 경우의 이들 원소의 함유량은 합계로 0.02 ~ 5.00%로 하는 것이 좋다. 바람직한 것은 합계로 0.05 ~ 4.50%이다.

Ta, Hf, Nd, Ti :

이들 원소는 반드시 적극적으로 첨가하지 않아도 좋다. 첨가하면, 어떤 원소도, 전술한 V 이나 Nb과 마찬가지로, MX형 탄화물을 생성하고, 크리프 강도의 향상을 기여한다. 이 때문에, 그 효과를 얻고자 할 경우에는 1종 이상을 적극적으로 첨가해도 좋고, 그 효과는 합계로 0.01% 이상의 함유량에서 현저하게 된다. 그러나, 합계 함유량이 0.20%를 초과하면, 탄화물의 조대화와 강의 청정도 열화를 초래하고, 인성이 손상된다. 따라서, 첨가하는 경우의 이들 원소의 함유량은 합계로 0.01 ~ 0.20%로 하는 것이 좋다. 바람직한 것은 합계로 0.03 ~ 0.18% 이다.

Ca, Mg :

이들의 원소는 반드시 적극적으로 첨가하지 않아도 좋다. 첨가하면, 어느 원소도, 열간가공성을 향상시킨다. 이 때문에, 상기 효과를 얻고자 하는 경우에는 1종 이상을 적극적으로 첨가하여도 좋으며, 상기 효과는 합계로 0.0005% 이상의 함유량에서 현저하게 된다. 그러나, 합계 함유량이 0.0100%를 초과하면, 강의 청정도를 손상시킨다. 따라서, 첨가하는 경우의 이들 원소의 함유량은 합계로 0.0005 ~ 0.0100%로 하는 것이 좋다. 바람직한 것은 합계로 0.0010 ~ 0.0080% 이다.

B :

B 는 반드시 적극적으로 첨가하지 않아도 좋다. 첨가하면, 탄화물을 분산, 안정화시켜서 모재의 크리프 강도의 향상에 기여한다. 또한, B 는 담금질성을 향상시키는 원소이며, 모재의 조직을 마르텐사이트 조직으로 하는 데 유효하다. 이 때문에, 이들의 효과를 얻고자 하는 경우에는 적극적으로 첨가하여도 좋고, 상기 효과는 0.0005% 이상의 함유량에서 현저하게 된다. 그러나, 함유량이 0.0100%를 초과하면, 용접 시의 내온균열성을 손상시킨다. 따라서, 첨가하는 경우의 B 함유량은 0.0005 ~ 0.0100%로 하는 것이 좋다. 바람직한 것은 0.0010 ~ 0.0080% 이다.

II. 강 중의 $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 크기와 양

전술한 바와 같이, HAZ 에서의 크리프 강도 저하는, 모재의 제조 시에 석출되는 조대한 $M_{23}C_6$ 형 탄화물을 주체로 하는 탄화물의 일부가 용접 시의 열사이클에 의해 분해되어 고용되고, 그 후의 열처리 및 크리프 초기과정에서, 탄화물의 일부가 고용된 영역에서 다시 미세하게 석출하고, 용접열 사이클을 겪지 않는 모재나 HAZ 연화가 생기지 않는 부분과 비교하면 Cr을 주체로한 탄화물의 석출밀도, 크기가 불균일하게 되기 때문이다.

이것을 방지하기 위해서는, 전술한 바와 같이, 용접 전의 모재 중에 존재하는 상기 $M_{23}C_6$ 형을 주체로 하는 탄화물 및 MX형 탄질화물의 양을 제한하고, 용접시의 열사이클에 의해 일부 고용하는 탄화물의 양을 줄이는 것이 유효하다. 상기 효과를 충분히 얻기 위해서는, 용접 전의 모재 강 중의 입경(장경)이 $0.3\mu m$ 이상인 $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 석출밀도를 1×10^6 개/ mm^3 이하로 할 필요가 있다. 이것은, 후술하는 실시예로부터도 명백하다.

또한, 입경(장경)이 $0.3\mu m$ 이상인 $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^3 이하인 조직은, 모재의 제조 시에 있어서 「노말라이징」 또는 「노말라이징 + 템퍼링」의 열처리 온도와 유지시간을 강의 화학성분에 따라서 적절히 조정하는(예를 들면, 후술 하는 실시예에 나타내는 조건을 채용한다) 것에 의해 달성할 수 있다.

[실시예]

표 1 및 표 2에 나타난 화학조성을 가지는 34종류의 페라이트강으로 이루어지는 두께 12mm의 강판을 준비했다. 강판은, 진공 용해로에서 용제하고, 주조, 열간단조, 열간압연의 공정에 의해 판재로 성형한 후, $900^\circ C$ 로부터 $1180^\circ C$ 까지의 범위 내의 온도에서 0.5시간 유지하는 노말라이징 후, $700^\circ C$ 로부터 $770^\circ C$ 까지의 범위 내의 온도에서 1 ~ 10 시간 유지하는 템퍼링의 열처리를 함에 의해서 제조했다. 일부 예에서는 템퍼링을 생략하였다.

그 때, 열간압연 후의 판재 표면을 눈으로 관찰하여 흠의 발생상황을 조사하고, 각 공급시료강(供試鋼)의 열간 가공성을 평가했다. 열간 가공성의 평가, 1㎡ 당의 흠 발생개수가 5개 이하인 경우를 우량 「◎」, 6 ~ 20개인 경우를 특별히 문제 없음 「○」, 21개 이상의 경우를 불량 「×」로서 평가하고, 그 결과를 표 2에 병기했다.

표 1.

마크	C	SI	Mn	P	S	Gr	V	Nb	N	sol.Al	O	Mo	W
1	0.035	0.25	0.44	0.015	0.006	9.16	0.19	0.04	0.014	0.004	0.004	—	—
2	0.045	0.30	0.61	0.012	0.004	9.48	0.21	0.05	0.020	0.005	0.003	—	—
3	0.020	0.28	0.41	0.012	0.004	9.25	0.22	0.05	0.018	0.008	0.004	—	—
4	0.001	0.26	0.52	0.009	0.005	9.12	0.20	0.08	0.016	0.005	0.004	—	—
5	0.005	0.20	0.48	0.010	0.005	9.20	0.19	0.06	0.023	0.005	0.003	—	—
6	0.016	0.19	0.47	0.013	0.006	9.23	0.17	0.06	0.028	0.004	0.004	—	—
7	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
8	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
9	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
10	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
11	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
12	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
13	0.049	0.25	0.33	0.015	0.003	8.04	0.16	0.05	0.014	0.006	0.005	0.96	—
14	0.047	0.22	0.50	0.017	0.002	8.94	0.23	0.07	0.022	0.003	0.003	—	2.95
15	0.035	0.26	0.48	0.018	0.004	10.51	0.15	0.03	0.010	0.005	0.003	0.42	1.88
16	0.018	0.31	0.33	0.018	0.005	12.78	0.22	0.06	0.016	0.004	0.004	—	—
17	0.038	0.21	0.28	0.012	0.004	9.56	0.18	0.05	0.016	0.005	0.004	—	—
18	0.029	0.19	0.26	0.012	0.005	9.30	0.20	0.04	0.014	0.004	0.004	—	—
19	0.036	0.24	0.25	0.014	0.004	9.16	0.20	0.04	0.009	0.005	0.005	1.05	—
20	0.019	0.31	0.30	0.015	0.004	8.54	0.19	0.05	0.020	0.004	0.004	0.31	1.71
21	0.022	0.26	0.45	0.010	0.002	9.14	0.22	0.04	0.001	0.005	0.003	—	—
22	0.034	0.19	0.29	0.015	0.005	8.96	0.24	0.03	0.026	0.004	0.004	—	—
23	0.033	0.22	0.45	0.013	0.003	9.41	0.28	0.04	0.045	0.004	0.004	—	—
24	0.028	0.24	0.41	0.014	0.002	9.23	0.12	0.06	0.006	0.004	0.003	—	2.84
25	0.026	0.21	0.44	0.016	0.003	7.18	0.17	0.08	0.047	0.004	0.004	0.86	—
26	0.018	0.19	0.29	0.015	0.003	10.41	0.10	0.02	0.019	0.005	0.004	—	—
27	0.036	0.32	0.32	0.014	0.002	13.77	0.24	0.09	0.014	0.005	0.003	0.40	1.48
28	0.026	0.17	0.36	0.014	0.001	7.18	0.05	0.06	0.015	0.006	0.004	—	—
29	0.027	0.19	0.33	0.013	0.003	9.33	0.09	0.10	0.010	0.004	0.003	—	—
30	0.018	0.21	0.29	0.012	0.002	9.41	0.20	0.05	0.003	0.004	0.005	—	—
31	*0.062	0.23	0.25	0.013	0.003	9.11	0.16	0.04	0.018	0.005	0.004	—	—
32	*0.086	0.20	0.28	0.014	0.003	9.23	0.14	0.05	0.020	0.004	0.004	0.95	0.05
33	*0.056	0.23	0.32	0.011	0.005	9.46	0.20	0.04	*0.053	0.006	0.004	—	—
34	*0.074	0.28	0.28	0.014	0.004	10.50	0.19	0.03	*0.056	0.004	0.004	—	—

주 * 표시는 본발명에서 규정하는 범위를 벗어났다고 있는것을 나타낸다.

표 2.

(표1의 계속)

마크	화학조성 (단위: 원자%, 산부: Fe 및 불순물)					노출레이징	이닐링	식출물의 식출밀도 ($\times 10^{-3} / \text{mm}^2$)	열간 가공성
	Al	Cu	Co	Ca	Mg	기타			
1	—	—	—	—	—	—	1180°C × 0.5h	770°C × 1h	0.216
2	—	—	—	—	—	—	"	"	0.302
3	—	—	—	—	—	—	"	"	0.156
4	—	—	—	—	—	—	"	"	0.070
5	—	—	—	—	—	—	"	"	0.102
6	—	—	—	—	—	—	"	"	0.148
7	—	—	—	—	—	—	"	"	0.310
8	—	—	—	—	—	—	"	770°C × 3h	0.847
9	—	—	—	—	—	—	"	—	0.005
10	—	—	—	—	—	—	"	770°C × 10h	* 2.069
11	—	—	—	—	—	—	"	700°C × 10h	* 1.726
12	—	—	—	—	—	—	900°C × 0.5h	770°C × 1h	* 1.426
13	—	—	—	—	—	—	1180°C × 0.5h	700°C × 10h	* 1.968
14	—	—	—	—	—	—	"	770°C × 1h	0.342
15	0.61	—	—	—	—	—	"	"	0.241
16	0.05	1.76	—	—	—	—	"	"	0.165
17	—	—	—	—	—	—	"	"	0.294
18	—	—	2.65	—	—	—	"	"	0.198
19	—	—	—	—	—	—	"	"	0.231
20	0.43	1.51	—	—	—	—	"	"	0.145
21	—	—	—	—	—	—	"	"	0.187
22	—	—	—	—	—	—	"	"	0.201
23	—	—	—	—	—	—	"	"	0.216
24	—	—	—	—	—	—	"	"	0.205
25	—	—	2.45	—	—	—	"	"	0.215
26	0.96	—	—	0.0018	—	—	0.0010 Nd:0.026	"	0.179
27	—	1.88	—	—	—	—	"	"	0.325
28	—	—	—	—	—	—	Ta:0.048	"	0.166
29	—	—	—	—	—	—	"	"	0.181
30	—	—	—	—	0.0023	—	0.0032	"	0.136
31	—	—	—	—	—	—	"	"	* 1.106
32	—	—	—	—	—	—	"	"	* 1.624
33	—	—	—	—	—	—	"	"	* 1.216
34	—	—	—	—	—	—	"	"	* 1.286

주) * 표시는 본발명에서 규정하는 범위를 벗어나고 있는것을 나타낸다.

먼저, 준비한 각 강판으로부터, 조직관찰용의 시료를 채취하고, 주사형(走査型) 전자현미경(SEM)을 사용하여, 5000배의 배율로 10 시야(視野)를 관찰하고, $M_{23}C_6$ 형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 크기와 개수를 측정하고, 1mm 당의 입경(장경) $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 식출밀도를 조사하여, 그 결과를 표 2에 병기하여 나타냈다. 또한, 각 강판으로부터는 크리프 시험편을 채취하여, 크리프 시험에 제공했다.

다음에, 강판의 일 변에 각도 30° , 루트 면 두께 1mm의 개선(開先)가공을 실시하여 대조한 후, 화학조성이 강판과 동일한 용가재(溶加材)를 사용하여 TIG 용접법에 의해 다층용접을 하여, 각 강판마다에 용접 커플링을 제조했다. 용접 입열량은 $12 \sim 20\text{kJ/cm}$ 로 하고, 예열과 패스(pass)간 온도관리는 특별히 행하지 않았으나, 용접 후의 용접 커플링에는, 어느 용접 커플링에도, 고온균열, 저온균열 등의 용접결합은 모두 발생하지 않았다. 또한, 상기의 용가재는, 준비한 각 강판에 열간가공과 기계가공을 실시하여 제작했다.

제조된 용접 커플링에는, 740°C 에서 0.5시간 유지하는 용접후 열처리를 실시한 후, 용접부로부터 크리프 시험편을 채취하여, 크리프 시험에 제공했다. 또한 일부의 용접 커플링(마크 1 ~ 9 및 14 ~ 30)에 대해서는, 용접부로부터 JIS Z 2202에 규정된 V 노치 시험편을 채취하여, 샤르피 충격시험에 제공했다. 또한, 크리프 시험편은, 길이방향의 중앙부에 용접선이 위치하도록 채취했다. 또한, V 노치 시험편은 노치바닥에 용융경계가 위치하도록 채취했다.

크리프 시험은, 650°C 에서 행하고, 얻어진 데이터를 직선외삽(直線外挿)하여 3000시간의 추정강도를 구하고, 모재와 용접 커플링의 강도를 비교하여, 용접 커플링의 강도가 모재의 90% 이상의 것을 합격, 90% 미만의 것을 불합격으로 평가했다.

샤르피 충격시험은, -20°C 에서 행하고, 흡수 에너지를 구하여, 흡수 에너지가 40J 이상의 것을 합격으로 평가했다.

이상의 결과를, 표 3에 함께 나타냈다.

표 3.

마크	추정 그리프강도(MPa)		강도비 용접커플링/모재	흡수에너지 (J) at -20℃	
	모재	용접커플링			
본 발 명 예	1	7 5	7 0	0. 9 3	6 4
	2	7 8	7 2	0. 9 2	6 2
	3	7 4	6 9	0. 9 3	6 6
	4	7 1	6 7	0. 9 5	5 2
	5	7 3	6 9	0. 9 4	6 2
	6	7 3	6 8	0. 9 3	6 2
	7	7 8	7 2	0. 9 2	6 5
	8	7 6	6 8	0. 9 0	6 7
	9	7 8	7 8	1. 0 0	6 5
비 교 예	10	1 5	4 9	*0. 6 5	—
	11	7 8	5 5	*0. 7 0	—
	12	7 6	5 5	*0. 7 2	—
	13	7 6	5 2	*0. 6 8	—
본 발 명 예	14	8 1	7 4	0. 9 1	6 7
	15	8 0	7 4	0. 9 2	6 2
	16	7 4	7 0	0. 9 4	6 0
	17	7 6	7 0	0. 9 2	6 2
	18	7 5	7 0	0. 9 3	6 4
	19	7 5	6 9	0. 9 2	6 4
	20	7 9	7 3	0. 9 3	6 2
	21	7 4	6 9	0. 9 3	6 4
	22	7 5	7 0	0. 9 3	6 6
	23	7 5	7 0	0. 9 3	6 6
	24	7 4	6 8	0. 9 2	6 7
	25	7 8	7 3	0. 9 3	6 2
	26	7 8	7 3	0. 9 4	6 4
	27	8 0	7 4	0. 9 2	6 4
	28	7 4	6 8	0. 9 2	6 2
	29	7 5	6 9	0. 9 2	6 2
	30	7 3	6 9	0. 9 4	6 4
비 교 예	31	7 8	6 2	*0. 8 0	—
	32	7 9	6 1	*0. 6 5	—
	33	7 8	6 2	*0. 7 9	—
	34	7 8	5 9	*0. 7 5	—

주) *표시는 평가가 불합격인 것을 나타낸다.

표 3에서 명백한 바와 같이, 본 발명에서 규정하는 조건을 만족하는 강판을 사용하여 얻어진 마크 1 내지 9 및 14 내지 30의 용접 커플링은, 모두 커플링의 추정강도가 모재의 추정강도의 90% 이상이다. 또한, 이들의 용접 커플링은 모두 -20℃에서의 흡수 에너지가 52J 이상으로 충분한 인성을 가지고 있었다.

이에 대하여, 화학조성은 본 발명에서 규정하는 범위 내이지만, 강판 제조시의 열처리가 부적절하고, 입경이 0.3 μ m 이상인 M₂₃C₆형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 석출밀도가 본 발명에서 규정하는 범위를 벗어나는 강판을 사용하여 얻은 마크 10 ~ 13의 용접 커플링은, 커플링의 추정강도가 모재강도의 65 ~ 72%로, HAZ 연화가 현저하다.

또한, C 또는/ 및 N의 함유량, 아울러 입경이 0.3 μ m 이상인 M₂₃C₆형 주체의 탄화물 및 MX형 탄질화물의 석출밀도가 본 발명에서 규정하는 범위를 벗어나는 강판을 사용하여 얻은 마크 31 ~ 34의 용접 커플링은, 커플링의 추정강도가 모재강도의 65 ~ 80%로, HAZ 연화가 현저하다.

산업상 이용 가능성

본 발명의 페라이트계 내열강은, 용접열 영향부에서의 크리프 강도의 저하가 작다. 따라서, 보일러 등의 용접구조물의 구성재료로서 유용하다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지며, 강중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 2.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 3.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 4.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 5.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 6.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, 아울러, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 7.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, 아울러, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 8.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 9.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, 아울러, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 10.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 11.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 12.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고,

또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, 아울러, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 13.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 14.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 15.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 16.

질량%로, C : 0.05% 미만, Si : 1.0% 이하, Mn : 2.0% 이하, P : 0.030% 이하, S : 0.015% 이하, Cr : 7 ~ 14%, V : 0.05 ~ 0.40%, Nb : 0.01 ~ 0.10%, N : 0.001% 이상 ~ 0.050% 미만, sol. Al : 0.010% 이하, O(산소) : 0.010% 이하이고, 또한, Mo 및 W의 1종 이상을 합계로서 0.1 ~ 5.0%, Cu, Ni 및 Co의 1종 이상을 합계로서 0.02 ~ 5.00%, Ta, Hf, Nd 및 Ti의 1종 이상을 합계로서 0.01 ~ 0.20%, 아울러, Ca 및 Mg의 1종 이상을 합계로서 0.0005 ~ 0.0100% 함유하며, 잔부는 Fe 및 불순물로 이루어지고, 강 중에 함유되는 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 이상인 탄화물 및 탄질화물의 석출밀도가 1×10^6 개/ mm^2 이하인 것을 특징으로 하는 용접열 영향부 연화가 작은 페라이트계 내열강.

청구항 17.

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

Fe의 일부를 대신하여, 질량%로, B를 0.0005 ~ 0.0100% 함유하는 것을 특징으로 하는 페라이트계 내열강.