



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0070147  
(43) 공개일자 2009년07월01일

(51) Int. Cl.

*B23K 35/30* (2006.01) *B23K 35/22* (2006.01)  
*B23K 9/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0138045  
(22) 출원일자 2007년12월26일  
심사청구일자 2007년12월26일

(71) 출원인

주식회사 포스코

경북 포항시 남구 괴동동 1번지

(72) 발명자

정홍철

경북 포항시 남구 괴동동 1번지 (주)포스코내

(74) 대리인

특허법인 씨엔에스·로고스

전체 청구항 수 : 총 3 항

**(54) 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크용접금속부**

**(57) 요약**

본 발명은 선박, 건축, 교량, 해양구조물, 강관, 라인파이프 등의 용접구조물에 사용되는 플럭스 코어드 아크 용접(Flux Cored Arc Welding; FCAW)을 행하였을 때의 용접금속부에 관한 것으로서, Ti 산화물 및 soluble B을 이용하여 입내 침상 페라이트 변태를 촉진시켜, 고강도 물성을 가지면서 동시에 저온 CTOD 특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부를 제공하고자 하는데, 그 목적이 있다.

본 발명은, 중량%로 C:0.01-0.2%, Si:0.1-0.5%, Mn:1.0-3.0%, Ni : 0.5-3.0%, Ti:0.01-0.1%, B : 0.0010-0.01%, Al: 0.005-0.05%, N:0.003-0.006%, P:0.03%이하, S:0.03%이하, O:0.03-0.07%,  $0.7 \leq Ti/O \leq 1.3$ ,  $6 \leq Ti/N \leq 12$ ,  $7 \leq O/B \leq 12$ ,  $1.2 \leq (Ti+4B)/O \leq 1.9$ 를 만족하고, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 조성되고, 그 미세조직이 85%이상의 침상 페라이트(acicular ferrite) 및 나머지 베이나이트, 입계 페라이트 및 다각형 페라이트 중의 1종 또는 2종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부를 그 요지로 한다.

본 발명에 의하면, 고강도 물성을 가지면서 동시에 우수한 저온 CTOD특성을 갖는 플럭스 코어드 아크 용접금속부가 제공된다.

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

중량%로 C:0.01-0.2%, Si:0.1-0.5%, Mn:1.0-3.0%, Ni : 0.5-3.0%, Ti:0.01-0.1%, B : 0.0010-0.01%, Al: 0.005-0.05%, N:0.003-0.006%, P:0.03%이하, S:0.03%이하, O:0.03-0.07%,  $0.7 \leq Ti/O \leq 1.3$ ,  $6 \leq Ti/N \leq 12$ ,  $7 \leq O/B \leq 12$ ,  $1.2 \leq (Ti+4B)/O \leq 1.9$ 를 만족하고, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 조성되고, 그 미세조직이 85% 이상의 침상 페라이트(acicular ferrite) 및 나머지 베이나이트, 입계 페라이트 및 다각형 페라이트 중의 1종 또는 2종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 용접금속부에, Nb:0.0001-0.1%, V:0.005-0.1%,

Cu:0.01~2.0%, Cr:0.05~1.0%, Mo: 0.05~1.0%, W: 0.05~0.5%, Zr:0.005-0.5%, Ca:0.0005-0.005% 및 REM:0.005-0.05%으로 이루어진 그룹에서 선택된 1종 또는 2종이 추가로 함유되는 것을 특징으로 하는 저온 CTOD 특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 용접금속부에는 0.01~0.1 $\mu$ m의 TiO산화물이  $1.0 \times 10^7$ 개/mm<sup>3</sup> 이상 분포되어 있는 것을 특징으로 하는 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 기술분야

<1> 본 발명은 선박, 건축, 교량, 해양구조물, 강관, 라인파이프 등의 용접구조물에 사용되는 플럭스 코어드 아크 용접(Flux Cored Arc Welding; FCAW)을 행하였을 때의 용접금속부에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부에 관한 것이다.

#### 배경 기술

- <2> 최근, 유가 등의 지속적인 상승으로 해양구조물이 더욱 한냉지 등에 건설되고 사용되고 있으며 사용되는 강재는 고강도화 및 저온 CTOD특성이 요구되고 있다.
- <3> 이러한 해양구조물의 안정성 확보를 위해서는 해양구조물의 용접부 CTOD특성이 무엇보다 중요하다.
- <4> 일반적으로 해양구조물의 플럭스 코어드 용접의 경우 입열범위는 대략 7-25kJ/cm에 해당되는 입열량을 많이 사용하고 있다.
- <5> 일반적으로 용접시 형성되는 용접금속(Weld Metal)은 응고하면서 조대한 주상정 조직이 형성되고 조대한 결정입 내에 오스테나이트 결정입계를 따라서 조대한 입계 페라이트 및 Widmanstätten ferrite 등이 형성되어 용접금속부가 용접부에서 CTOD특성이 가장 열화되는 부위이다.
- <6> 따라서, 용접구조물의 안정성을 확보하기 위해서는, 용접금속부의 미세조직을 제어하여 용접금속부의 CTOD특성을 확보할 필요가 있다. 이를 해결하기 위한 수단으로는, 용접재료의 성분을 규정한 기술을 들 수 있는데, 그 예로는, 일본 특허공개공보 (평)11-170085를 들 수 있지만, 용접금속의 미세조직, 입경 등을 제어하는 것이 아니고 이것의 용접재료로는 충분한 용접금속부 인성을 얻기가 어렵다.
- <7> 또한, 2005-171300에서는 C:0.07%이하, Si:0.3%이하, Mn:1.0~2.0%, P:0.02%이하, S를 0.1%이하, sol.Al: 0.04~0.1%, N:0.0020~0.01%, Ti:0.005~0.02%, B:0.005~0.005%로 구성되는 조성에서 ARM=197-1457C-1140sol.Al+11850N-316(Pcm-C)로 정의되는 ARM이 40~80인 것을 특징으로 하고 있지만 규정되어 있는 ARM에는 용접부내 산소함량의 제한이 없기 때문에 SAW 대입열 용접금속부의 충격인성을 확보하기 어렵다.
- <8> 또한, 일본 특허공개공보 (평)10-180488에서는 슬래그 생성제: 0.5~3.0%, C: 0.04~0.2%, Si $\leq$ 0.1%, Mn:1.2~3.5%, Mg:0.05~0.3%, Ni:0.5~4.0%, Mo:0.05~1.0%, B:0.002~0.015%를 포함하여 양호한 충격인성을 확보

하고 있지만, 용접금속내 산소 및 질소함량에 대한 기제가 없기 때문에 용접금속부의 CTOD특성을 확보하기 어렵다.

### 발명의 내용

#### 해결 하고자하는 과제

<9> 본 발명은 Ti 산화물 및 soluble B를 이용하여 입내 침상 페라이트 변태를 촉진시켜, 고강도 물성을 가지면서 동시에 저온 CTOD 특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부를 제공하고자 하는데, 그 목적이 있다.

#### 과제 해결수단

<10> 이하, 본 발명에 대하여 설명한다.

<11> 본 발명은, 중량%로 C:0.01-0.2%, Si:0.1-0.5%, Mn:1.0-3.0%, Ni : 0.5-3.0%, Ti:0.01-0.1%, B : 0.0010-0.01%, Al: 0.005-0.05%, N:0.003-0.006%, P:0.03%이하, S:0.03%이하, O:0.03-0.07%,  $0.7 \leq Ti/O \leq 1.3$ ,  $6 \leq Ti/N \leq 12$ ,  $7 \leq O/B \leq 12$ ,  $1.2 \leq (Ti+4B)/O \leq 1.9$ 를 만족하고, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 조성되고, 그 미세조직이 85%이상의 침상 페라이트(acicular ferrite) 및 나머지 베이나이트, 입계 페라이트 및 다각형 페라이트 중의 1종 또는 2종 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 저온 CTOD특성이 우수한 플럭스 코어드 아크 용접금속부에 관한 것이다.

<12> 상기 용접금속부에는 Nb:0.0001-0.1%, V:0.005-0.1%, Cu:0.01-2.0%, Cr:0.05-1.0%, Mo: 0.05-1.0%, W: 0.05-0.5%, Zr:0.005-0.5%의 그룹에서 선택된 1종 또는 2종 이상 및/또는, Ca:0.0005-0.005%, REM:0.005-0.05%의 그룹에서 선택된 1종 또는 2종이 함유될 수 있다.

<13> 상기 용접금속부에는 0.01-0.1 $\mu$ m의 TiO<sub>2</sub>산화물이 1.0x10<sup>7</sup>개/mm<sup>3</sup> 이상 분포되는 것이 바람직하다.

#### 효과

<14> 본 발명은 TiO<sub>2</sub>산화물 및 soluble B를 이용함으로써 용접금속부에서 침상페라이트 변태를 촉진시켜 고강도 물성을 가지면서 동시에 우수한 저온 CTOD특성을 갖는 플럭스 코어드 아크 용접금속부를 제공할 수 있는 것이다.

#### 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<15> 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

<16> 본 발명자들은 용접입열량이 7~30kJ/cm인 FCAW용접에 있어서 고강도 물성을 가지면서 동시에 우수한 CTOD의 확보가 가능한 용접금속부를 개발하기 위하여 용접금속부의 CTOD에 효과적이라고 알려진 침상페라이트에 미치는 산화물의 종류 및 크기 등에 대해 조사한 결과, TiO<sub>2</sub> 및 soluble B등에 따라 용접금속부의 입계 페라이트 및 침상페라이트의 양이 변화하고 이에 따라 용접금속부의 CTOD값이 변화한다는 사실을 알게 되었다.

<17> 이러한 연구에 기초하여, 본 발명에서는,

<18> [1] FCAW 용접금속에 TiO<sub>2</sub> 산화물을 이용하는 것과 함께,

<19> [2] 산화물 개수 1.0 X10<sup>7</sup>개/mm<sup>3</sup> 이상이고 크기가 0.01-0.1 $\mu$ m인 용접금속부에서 침상페라이트를 85%이상 변태시켜 인성을 향상시킨다는 것.

<20> [3] TiO<sub>2</sub> 및 soluble B를 확보하여 침상 페라이트 변태를 촉진할 수 있다는 것이다.

<21> 이들 [1][2][3]을 보다 구체적으로 설명한다.

<22> [1] TiO<sub>2</sub> 산화물 관리

<23> 본 발명자들은 용접금속내에 Ti/O, O/B의 비를 적절히 유지하면 적절한 수의 TiO<sub>2</sub> 산화물이 적절히 분포되어 용접금속의 응고과정에서 오스테나이트 결정립의 조대화를 방지하고 TiO<sub>2</sub>산화물에서 침상페라이트 변태가 촉진된다는 결과를 밝혀내었다.

<24> TiO<sub>2</sub>산화물이 오스테나이트 결정입내에 적절히 분포하면 오스테나이트에서 온도가 감소함에 따라 오스테나이트 결정입내의 TiO<sub>2</sub>산화물은 침상 페라이트 변태의 불균일 핵생성 자리의 역할을 하게 되어 결정입계에 형성되는 입

계 페라이트보다 우선적으로 페라이트를 형성시킬 수 있다는 사실을 알게 되었다. 이로 인해 용접금속부 CTOD특성을 획기적으로 개선할 수 있는 것이다.

<25> 이를 위해서는 TiO 산화물을 미세하고 균일하게 분포시키는 것이 중요하다. 또한, 발명자들은 Ti/O, O/B의 비에 따른 TiO 산화물의 크기와 양 그리고, 분포를 조사한 결과, Ti/O가 0.2~0.5, O/B의 비가 5~10일 때 0.01~0.1 $\mu$ m 크기의 TiO 산화물이 1.0x10<sup>7</sup>개/mm<sup>3</sup> 이상으로 얻어지는 것을 확인할 수 있었다.

<26> [2] 용접금속부 미세조직

<27> 본 발명의 연구로부터 밝혀진 사실은, Ti/O, O/B의 비에 따른 TiO 산화물의 크기와 양 그리고, 분포를 조사한 결과, Ti/O가 0.2~0.5, O/B가 5~10일 때 0.01~0.1 $\mu$ m 크기의 TiO산화물이 1.0x10<sup>7</sup>개/mm<sup>3</sup> 이상으로 얻어지는 것을 확인할 수 있었다.

<28> 이러한 TiO 산화물이 용접금속내에 적절히 분포되면 용접금속부의 냉각과정에서 결정입계보다는 우선적으로 결정입내에 침상페라이트 변태를 촉진시켜 용접금속부의 침상페라이트의 구성비를 85%이상 확보할 수 있다는 것이다.

<29> [3] 용접금속부내 soluble boron(고용 보론) 역할

<30> 본 발명의 연구에서 밝혀진 사실은, 용접금속부에 균일 분산되어 있는 산화물과는 별도로 고용되어 있는 보론은 결정입계로 확산되어 결정입계의 에너지를 낮게하여 결정입계에서 입계 페라이트 변태를 억제하는 역할을 하여 결정입내에 침상 페라이트 변태를 촉진시키는 역할을 한다. 이렇게 결정입계에서 입계페라이트 변태를 억제하여 결정입내에서는 침상 페라이트변태를 통하여 용접금속부의 CTOD 향상에 기여한다.

<31> 이하, 본 발명을 용접금속부의 성분을 상세히 설명한다.

<32> [성분]

<33> 탄소(C)의 함량은 0.01~0.2%로 하는 것이 바람직하다.

<34> 탄소(C)는 용접금속의 강도를 확보하고 용접경화성을 확보하기 위하여 필수적인 원소이다. 그러나 탄소함량이 0.2%를 초과하게 되면 용접성이 크게 저하하고 용접금속부에 저온균열이 발생하기 쉽고 대입열 충격인성이 크게 저하한다.

<35> 실리콘(Si)의 함량은 0.1~0.5%로 제한하는 것이 바람직하다.

<36> 실리콘의 함량이 0.1% 미만인 경우에는 용접금속내의 탈산효과가 불충분하고 용접금속의 유동성을 저하시키며, 0.5%를 초과하는 경우에는 용접금속내의 도상 마르텐사이트(M-A constituent)의 변태를 촉진시켜 저온 충격인성을 저하시키고 용접균열감수성에 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다.

<37> 망간(Mn)의 함량은 1.0~3.0%로 제한하는 것이 바람직하다.

<38> Mn은 강중에서 탈산작용 및 강도를 향상시키는 유효한 작용과 함께, TiO산화물 주위에 MnS형태로 석출하여 Ti복합산화물로 하여금 용접금속부 인성개선에 유리한 침상 페라이트의 생성을 촉진시키는 역할을 한다.

<39> 이러한 Mn은 기지조직내에 치환형 고용체를 형성하여 기지를 고용 강화시켜 강도 및 인성을 확보하는데, 이를 위해서는 1.0%이상 함유되는 것이 바람직하다. 그러나, 3.0%를 초과할 경우 저온변태조직을 생성시키기 때문에 바람직하지 못하다.

<40> 티타늄(Ti)의 함량은 0.01~0.1%로 제한하는 것이 바람직하다.

<41> Ti는 O와 결합하여 미세한 Ti산화물을 형성시킬 뿐만 아니라 미세 TiN석출물을 형성시키기 때문에 본 발명에서는 필수불가결한 원소이다. 이러한 미세한 TiO산화물 및 TiN복합석출물 효과를 얻기 위해서는 Ti을 0.01%이상 첨가하는 것이 바람직하나, 0.1%를 초과하면 조대한 TiO산화물 및 조대한 TiN석출물이 형성되어 바람직하지 못하다.

<42> 니켈(Ni)의 함량은 0.5~3.0%로 제한하는 것이 바람직하다.

<43> Ni은 고용강화에 의해 기지(matrix)의 강도와 인성을 향상시키는 유효한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 Ni함유량이 0.5%이상 함유되는 것이 바람직하지만, 3.0%를 초과하는 경우에는 소입성을 크게 증가시키고 고온균열의 발생 가능성이 있기 때문에 바람직하지 못하다.

- <44> 붕소(B)의 함량은 0.0010-0.01%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <45> B는 소입성 향상시키는 원소로서 입계에 편석되어 입계 페라이트 변태를 억제하기 위해서는 0.0010%이상은 필요하지만, 0.01%이상을 초과하면 그 효과가 포화되고 용접경화성이 크게 증가하여 마르텐사이트 변태를 촉진시켜 용접 저온균열 발생 및 인성을 저하시키기 때문에 바람직하지 못하다. 따라서 B함량은 0.0010~0.01%로 한정한다.
- <46> 질소(N)의 함량은 0.003-0.006%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <47> N은 TiN 석출물 등을 형성시키는데 필수불가결한 원소로, 미세 TiN 석출물의 양을 증가시킨다. 특히 TiN 석출물 크기 및 석출물 간격, 석출물 분포, 산화물과의 복합석출 빈도수, 석출물 자체의 고온 안정성 등에 현저한 영향을 미치기 때문에, 그 함량은 0.003%이상으로 설정하는 것이 바람직하다.
- <48> 하지만, 질소함량이 0.006%를 초과하면 그 효과가 포화되며, 용접금속내에 존재하는 고용질소량의 증가로 인해 인성저하를 초래할 수 있다.
- <49> 인(P)의 함량은 0.030%이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- <50> P는 용접시 고온균열을 조장하는 불순원소이기 때문에 가능한 한 낮게 관리하는 것이 바람직하다. 인성 향상 및 균열 저감을 위해서는 0.03%이하로 관리하는 것이 좋다.
- <51> 알루미늄(Al)의 함량은 0.005-0.05%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <52> Al은 탈산제로서 용접금속내에 산소량을 감소시키기 때문에 필요한 원소이다. 또한 고용질소와 결합하여 미세한 AlN석출물을 형성시키기 위해서는 Al함유량을 0.005%이상으로 하는 것이 좋다. 그러나, 0.05%를 초과하면 조대한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 형성시켜 인성개선에 필요한 TiO산화물의 형성을 방해하므로 0.05%이하로 하는 것이 바람직하다.
- <53> 황(S)의 함량은 0.030%이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- <54> S는 MnS 형성을 위하여 필요한 원소이다. MnS의 복합석출물의 석출을 위해서는 0.03%이하로 하는 것이 바람직하다. 그 이상이 존재하는 경우 FeS 등의 저융점화합물을 형성시켜 고온균열을 유발시킬 수 있기 때문에 바람직하지 못하다.
- <55> 산소(O)의 함량은 0.03-0.07% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- <56> O는 용접금속부 응고 과정에서 Ti와 반응하여 Ti산화물을 형성시키는 원소로, Ti산화물은 용접금속내에서 침상 페라이트의 변태를 촉진시킨다. O함유량이 0.03% 미만이면 Ti산화물을 용접금속부에 적절히 분포시키지 못하며, 0.07%를 초과하면 조대한 Ti산화물 및 기타 FeO 등의 산화물이 생성되어 용접금속부에 영향을 미치기 때문에 바람직하지 않다.
- <57> Ti/O의 비는 0.7~1.3으로 하는 것이 바람직하다.
- <58> Ti/O비가 0.7 미만의 경우에는 용접금속내에 오스테나이트 결정립 성장억제 및 침상페라이트변태에 요구되는 TiO산화물 개수가 불충분하며, TiO산화물내에 함유하는 Ti비율이 작아져서 침상 페라이트 핵생성 자리로서의 기능을 상실하여 용접열영향부의 인성개선에 유효한 침상페라이트 상 분율이 저하된다. Ti/O의 비가 1.3을 초과하는 경우에는 용접금속내 오스테나이트 결정립성장억제 효과가 포화되며, 산화물내에 함유되는 합금성분의 비율이 오히려 작아져서 침상 페라이트의 핵생성 자리로서의 기능을 상실한다.
- <59> Ti/N의 비는 6~12로 하는 것이 바람직하다.
- <60> 본 발명에서 Ti/N비를 6 미만인 경우 TiO산화물에 형성되는 TiN석출물량이 감소하여 인성개선에 효과적인 침상 페라이트 변태에 나쁜 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하며 또한 12를 초과하는 경우 그 효과가 포화되고 고용질소량이 증가하여 충격인성을 저하시키기 때문에 바람직하지 못하다.
- <61> O/B의 비는 7~12으로 하는 것이 바람직하다.
- <62> 본 발명에서 O/B비가 7 미만이면 용접후 냉각과정중에 오스테나이트 결정입계로 확산되어 입계 페라이트 변태를 억제하는 고용 B의 양이 불충분하며, O/B비가 12를 초과하는 경우에는 그 효과가 포화되며 고용질소량이 증가하여 용접열영향부의 인성을 저하시키게 된다.
- <63> (Ti+4B)/O의 비는 1.2~1.9로 하는 것이 바람직하다.

- <64> 본 발명에서 (Ti+4B)/0의 비가 1.2 미만의 경우에는 고용질소량이 증가하여 용접금속부의 인성개선에 효과적이지 못하고 1.9를 초과할 경우 TiN, BN 석출물의 개수가 불충분하기 때문에 바람직하지 못하다.
- <65> 본 발명에서는 기계적 성질을 보다 향상시키기 위하여, 상기와 같이 조성되는 강에 Nb, V, Cu, Mo, Cr, W 및 Zr의 그룹에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 추가로 첨가할 수 있다.
- <66> 구리(Cu)의 함량은 0.1~2.0%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <67> Cu는 기지에 고용되어 고용강화 효과로 인하여 강도 및 인성을 확보하기 위해서 유효한 원소이다. 이를 위해서는 Cu함유량이 0.1%이상 함유되어야 하지만, 2.0%를 초과하는 경우에는 용접금속부에서 경화성을 증가시켜 인성을 저하시키며 용접금속에서 고온균열을 조장시키기 때문에 바람직하지 못하다.
- <68> 또한, Cu와 Ni을 복합첨가하는 경우 이들의 합계는 3.5%미만으로 하는 것이 바람직하다. 그 이유는 3.5%미만의 경우에 소입성이 커져서 인성 및 용접성에 악영향을 초래하기 때문이다.
- <69> Nb의 함량은 0.0001-0.1%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <70> Nb는 소입성을 향상시키기 위한 필수원소로서 특히 Ar<sub>3</sub>온도를 낮추고 냉각속도가 낮은 범위에서도 베이나이트 생성범위를 넓히는 효과가 있어 베이나이트 조직을 얻기 위하여 필요하다.
- <71> 강도 향상 효과를 기대하기 위해서는 0.0001%이상이 필요하다. 그러나 0.1%를 초과하면 용접시 용접금속부에서 도상 마르텐사이트 형성을 촉진하여 용접금속부의 인성에 나쁜 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다.
- <72> V의 함량은 0.005-0.1%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <73> V는 VN석출물을 형성시켜 페라이트 변태를 촉진하는 원소로서 0.005%이상 이 필요하나 0.1%를 초과하면 용접금속부에 탄화물(Carbide)과 같은 경화상을 형성시켜 용접금속부의 인성에 나쁜 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다.
- <74> 크롬(Cr)은 0.05~1.0%로 하는 것이 바람직하다.
- <75> Cr은 소입성을 증가시키고 또한 강도를 향상시키는데, 그 함유량이 0.05%미만인 경우에는 강도를 얻을 수 없고 1.0%를 초과하는 경우에는 용접금속부 인성열화를 초래한다.
- <76> 몰리브덴(Mo)은 0.05~1.0%로 하는 것이 바람직하다.
- <77> Mo도 소입성을 증가시키고 동시에 강도를 향상시키는 원소로, 그 함량은 강도확보를 위하여 0.05%이상으로 하지만, 용접금속부의 경화 및 용접 저온균열 발생을 억제하기 위해서는 Cr과 마찬가지로 상한을 1.0%로 한다.
- <78> W의 함량은 0.05-0.5%로 제한하는 것이 바람직하다.
- <79> W은 고온강도를 향상시키고 석출강화에 효과적인 원소이다. 그러나 0.05%미만에서는 강도상승효과가 미약하기 때문에 바람직하지 못하고 0.5%이상에서는 용접금속부 인성에 나쁜 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다.
- <80> Zr의 함량은 0.005-0.5%로 제한하는 것이 바람직하다
- <81> Zr은 강도상승에 효과가 있기 때문에 0.005%이상 첨가하는 것이 바람직하며, 0.5%를 초과할 경우 용접금속부 인성에 나쁜 영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다.
- <82> 또한, 본 발명에서는 구 오스테나이트의 결정립 성장 억제를 위해 Ca 및 REM중의 1종 또는 2종을 추가로 첨가할 수 있다.
- <83> Ca 및 REM은 용접시 아크를 안정시키고 용접금속부에서 산화물을 형성시키기 때문에 바람직한 원소이다. 또한 냉각과정에서 오스테나이트 결정립 성장을 억제하고 입내 페라이트변태를 촉진시켜 용접금속부의 인성을 향상시킨다. 이를 위해, 칼슘(Ca)은 0.0005%이상, REM은 0.005%이상 첨가하는 것이 좋으나, Ca이 0.05%, REM이 0.05%를 초과하는 경우 대형 산화물을 형성하여 인성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. REM으로서는 Ce, La, Y 및 Hf등의 1종 또는 2종이상을 사용하여도 무방하고 어느 것도 상기 효과를 얻을 수 있다.
- <84> [용접금속부의 미세조직]
- <85> 본 발명에서 FCAW 용접후 형성되는 용접금속부의 미세조직은 침상페라이트이고, 그 상분율은 85%이상인 것이 바람직하다. 그 이유는 침상페라이트 조직은 고강도와 저온 CTOD를 동시에 얻을 수 있는 조직이기 때문이다.

- <86> 나머지는 베이나이트, 입계 페라이트 및 다각형 페라이트 중의 1종 또는 2종 이상을 포함한다.
- <87> 페라이트와 베이나이트 조직이 혼합되어 있는 경우는 CTOD에는 유리하지만 용접금속부 강도가 낮고, 또한 미세 조직이 마르텐사이트와 베이나이트 혼합조직인 경우에는 용접금속부의 강도는 높지만 용접금속부의 CTOD 등의 기계적 성질이 저하하고 저온균열감수성이 증가하기 때문에 바람직하지 못하다.
- <88> [산화물]
- <89> 용접금속부에 존재하는 산화물은 용접후 용접금속부의 미세조직 변태에 큰 영향을 미친다. 즉 분포하는 산화물의 종류, 크기 및 그 개수에 크게 영향을 받게 된다.
- <90> 특히, FCAW 용접금속부의 경우 응고과정에서 결정립이 조대화되고 결정입계로부터 조대한 입계 페라이트, Widmanstätten 페라이트, 베이나이트 등의 조직이 형성되어 용접금속부의 물성을 저하시킨다.
- <91> 이를 방지하기 위해서는 용접금속내에 TiO 산화물을 0.5 $\mu$ m이하의 간격으로 균일하게 분산시키는 것이 중요하다.
- <92> 또한, TiO<sub>2</sub>산화물의 입경 및 입계 갯수를 각각 0.01~0.1 $\mu$ m 및 1mm<sup>3</sup>당 1.0x10<sup>7</sup>개 이상으로 한정하는 것이 바람직하다. 그 이유는 0.01 $\mu$ m미만에서는 FCAW용접금속부에서 침상페라이트의 변태를 촉진시키는 역할을 하지 못하며, 또한 0.1 $\mu$ m을 초과하는 경우에는 오스테나이트 결정립에 대한 피닝(pinning, 결정립 성장억제)효과가 적어지고 조대한 비금속개재물과 같은 거동을 하여 용접금속부의 CTOD특성에 좋지 않은 영향을 미치기 때문이다.
- <93> 본 발명에서 FCAW이외의 다른 용접방법(Process)에 의해서도 제조할 수 있다. 이 때 용접금속부의 냉각속도가 빠르면 산화물을 미세분산시키고 조직이 미세해기 때문에 냉각속도가 빠른 대입열 용접방법(process)이 바람직하다.
- <94> 또한, 같은 이유로 용접부의 냉각속도를 향상시키기 위하여 강제 냉각 및 Cu-백킹(backing)방법도 유리하다.
- <95> 그러나, 이와 같이 공지된 기술들을 본 발명에 적용하더라도 이는 본 발명의 단순한 변경으로서 실질적으로 본 발명의 기술사상의 범위내라고 해석하는 것은 당연하다.
- <96> 이하, 본 발명을 실시예를 통하여 구체적으로 설명한다.
- <97> [실시예]
- <98> 하기 표 1 및 표 2와 같은 성분 조성을 갖는 용접금속부를, 7~30kJ/cm이상의 용접입열량을 적용하여 FCAW에 의해 제조하였다.
- <99> 상기와 같이 용접된 용접금속부의 중앙부에서 시편을 채취하여 인장시험 및 CTOD시험을 행하고 그 결과를 하기 표 3에 나타내었다.
- <100> 상기 인장시험의 시험편은 KS규격(KS B 0801) 4호 시험편을 이용하였으며 인장시험은 크로스 헤드 스피드(cross head speed) 10mm/mim에서 실시하였다.
- <101> 상기 CTOD시험편은 BS7448-1규격에 준하여 제조하였고 피로 균열은 SAW 용접금속부 중앙에 위치시켰다.
- <102> 용접금속부의 CTOD에 중요한 영향을 미치는 산화물의 크기와 갯수 그리고 간격은 화상분석기(image analyzer)와 전자현미경을 이용한 포인트 카운팅(point counting)법으로 측정하고, 그 결과를 하기 표 3에 나타내었다.
- <103> 이때, 피검면은 100mm<sup>2</sup>을 기준으로 하여 평가하였다.
- <104> FCAW 용접금속부의 CTOD 평가는 FCAW 용접후 CTOD시험편으로 가공하여 -10℃에서 CTOD시험기를 통하여 평가하였다.

**표 1**

시편 No.	화학조성(중량%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Ti	B (ppm)	N(ppm)	Cu	Al	Cr	Nb	V	Ca	REM	O (ppm)	
발명강1	0.06	0.19	1.54	0.010	0.005	1.54	0.14	0.034	50	45	-	0.001	-	-	-	-	-	-	380

발명강2	0.07	0.32	1.50	0.012	0.005	1.44	0.15	0.036	45	54	-	0.005	-	-	-	-	440	
발명강3	0.08	0.25	1.48	0.011	0.004	1.65	0.15	0.038	52	53	0.05	0.004	-	-	-	-	480	
발명강4	0.08	0.22	1.48	0.008	0.005	1.54	0.12	0.032	50	50	-	0.003	-	-	-	-	450	
발명강5	0.07	0.16	1.60	0.011	0.004	1.50	0.10	0.035	45	50	-	0.001	-	-	-	-	450	
발명강6	0.07	0.14	1.50	0.009	0.005	1.65	0.12	0.040	42	45	-	0.002	-	0.1	-	-	480	
발명강7	0.10	0.25	1.48	0.011	0.005	1.45	0.15	0.038	45	55	0.04	0.002	-	-	-	-	460	
발명강8	0.11	0.35	1.52	0.012	0.006	1.55	0.18	0.044	46	40	-	0.001	-	-	0.001	-	440	
발명강9	0.09	0.28	1.50	0.010	0.005	1.48	0.20	0.046	45	52	-	0.001	0.1	-	-	0.001	500	
발명강10	0.07	0.18	1.55	0.009	0.006	1.50	0.25	0.042	43	50	-	0.001	-	-	-	-	0.005	320
비교강1	0.03	0.06	1.25	0.011	0.006	2.60	0.19	0.001	29	92	0.02	0.005	-	-	-	-	-	150
비교강2	0.05	0.13	1.93	0.011	0.004	1.71	0.20	0.025	69	110	0.04	0.001	-	-	-	-	-	120
비교강3	0.06	0.06	1.25	0.010	0.007	1.61	0.010	0.014	21	74	-	0.007	-	-	-	-	-	150
비교강4	0.04	0.19	2.0	0.008	0.004	1.75	0.15	0.002	105	56	0.02	-	-	-	-	-	-	300
비교강5	0.06	0.28	1.56	0.013	0.008	1.46	0.14	0.058	58	71	0.012	-	-	-	-	-	-	170
비교강6	0.06	0.26	1.53	0.012	0.007	1.50	0.16	0.057	52	140	0.03	0.012	-	-	-	-	-	240
비교강7	0.05	0.22	1.58	0.015	0.008	1.51	0.12	0.004	41	270	0.03	0.01	-	-	-	-	-	260
비교강8	0.07	0.14	1.56	0.011	0.006	1.52	0.11	0.024	42	180	0.32	0.03	-	-	0.013	-	-	200
비교강9	0.06	0.37	1.74	0.015	0.010	1.44	0.17	0.081	11	100	0.03	0.02	-	-	-	-	-	140
비교강10	0.05	0.26	1.66	0.009	0.004	0.05	0.15	0.042	45	130	-	0.006	-	-	-	-	-	250
비교강11	0.06	0.23	1.72	0.008	0.004	1.30	0.14	0.003	52	230	0.05	0.01	-	-	-	-	-	290

표 2

시편 No.	Ti, O, N, B의 구성비			
	Ti/O	Ti/N	O/B	(Ti+4B)/O
발명강1	0.9	7.6	7.6	1.4
발명강2	0.8	6.7	9.8	1.2
발명강3	0.8	7.2	9.2	1.2
발명강4	0.7	6.4	9.0	1.2
발명강5	0.8	7.0	10.0	1.2
발명강6	0.8	8.9	11.4	1.2
발명강7	1.0	6.9	10.2	1.2
발명강8	0.9	11.0	9.6	1.4
발명강9	0.9	8.8	11.1	1.3
발명강10	1.3	8.4	7.4	1.9
비교강1	0.7	1.1	5.2	1.4

비교강2	2.0	2.3	1.7	4.4
비교강3	0.9	1.9	7.1	1.5
비교강4	0.7	3.6	2.9	2.1
비교강5	3.4	8.2	2.9	4.8
비교강6	2.4	4.1	4.6	3.2
비교강7	1.5	1.5	6.3	2.2
비교강8	1.2	1.3	4.8	2.0
비교강9	5.8	8.1	12.7	6.1
비교강10	1.6	3.2	5.6	2.4
비교강11	1.0	1.3	5.6	1.8

표 3

<107>

시험 No.	용접방법 및 입열량		TiO 산화물		용접금속부 침상 페라이트 분율(%)	용접금속부 기계적 성질	
	용접 방법	용접입열량 (kJ/cm)	개수 (개/mm <sup>3</sup> )	평균크기 ( $\mu$ m)		인장강도 (MPa)	CTOD (mm, -10℃)
발명강1	FCAW	20	$3.3 \times 10^8$	0.016	89	640	1.1
발명강2	FCAW	25	$4.6 \times 10^8$	0.017	89	630	1.0
발명강3	FCAW	22	$3.7 \times 10^8$	0.012	87	660	0.8
발명강4	FCAW	20	$4.6 \times 10^8$	0.016	88	640	0.9
발명강5	FCAW	18	$6.4 \times 10^8$	0.018	87	650	1.2
발명강6	FCAW	19	$5.3 \times 10^8$	0.025	89	630	1.1
발명강7	FCAW	22	$3.6 \times 10^8$	0.013	90	640	1.3
발명강8	FCAW	30	$3.3 \times 10^8$	0.026	91	660	1.0
발명강9	FCAW	30	$5.6 \times 10^8$	0.024	88	665	1.2
발명강10	FCAW	25	$5.3 \times 10^8$	0.014	85	620	1.2
비교강1	FCAW	20	$3.0 \times 10^6$	0.045	46	650	0.2
비교강2	FCAW	20	$4.3 \times 10^6$	0.051	52	640	0.3
비교강3	FCAW	20	$2.5 \times 10^6$	0.054	44	650	0.3
비교강4	FCAW	20	$3.0 \times 10^6$	0.064	45	660	0.3
비교강5	FCAW	20	$2.5 \times 10^5$	0.037	37	650	0.2
비교강6	FCAW	30	$2.5 \times 10^6$	0.056	42	680	0.1
비교강7	FCAW	30	$3.0 \times 10^6$	0.043	44	665	0.3
비교강8	FCAW	20	$4.1 \times 10^5$	0.046	52	610	0.2
비교강9	FCAW	30	$2.8 \times 10^5$	0.041	59	610	0.4
비교강10	FCAW	20	$3.4 \times 10^5$	0.046	52	620	0.3
비교강11	FCAW	25	$2.6 \times 10^6$	0.043	41	625	0.3

<108>

상기 표 3에 나타난 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 용접금속부는 TiO 산화물의 개수는  $3 \times 10^8$  개/mm<sup>3</sup> 이상의 범위를 가짐에 반하여, 비교강의 경우는  $4.3 \times 10^6$  개/mm<sup>3</sup> 이하의 범위를 보이고 있어 비교강 대비 발명강이 상당히 균일하면서도 미세한 복합석출물 크기를 갖고 또한 그 개수 또한 현저히 증가 되었음을 잘 알 수 있다.

<109>

한편, 본 발명강의 미세조직의 경우 침상 페라이트 상분율도 모두 85%이상의 높은 분율로 구성되어 있다.

<110>

따라서 FCAW 용접시 본 발명강은 입내 침상페라이트 및 다각형 페라이트로 구성되며 그 중 침상 페라이트의 상분율은 85%이상으로 구성되어 있으며 비교강 대비 우수한 용접금속부 CTOD특성을 보이고 있다.