



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월05일
(11) 등록번호 10-0764301
(24) 등록일자 2007년09월28일

(51) Int. Cl.

B23K 35/40(2006.01) B23K 35/368(2006.01)

B23K 35/22(2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0053545

(22) 출원일자 2006년06월14일

심사청구일자 2006년06월14일

(65) 공개번호 10-2006-0131658

공개일자 2006년12월20일

(30) 우선권주장

JP-P-2005-00174720 2005년06월15일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

(73) 특허권자

가부시키가이샤 고베 세이코쇼

일본 효고켄 고베시 주오구 와키노하마쵸 2쵸메 10번26고

(72) 발명자

나카노 도시히코

일본 251-0014 가나가와켄 후지사와시 미야마에 야자 우라코우치100번 1 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 후지사와 공장 내

스즈키 레이이치

일본 251-0014 가나가와켄 후지사와시 미야마에 야자 우라코우치100번 1 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 후지사와 공장 내

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김창세

전체 청구항 수 : 총 5 항

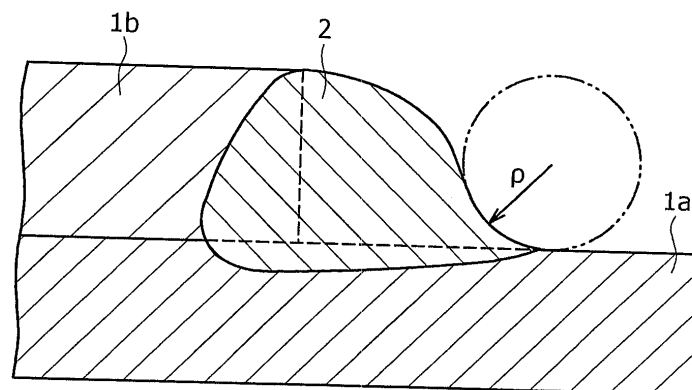
심사관 : 박종만

(54) 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어 및 이를 이용한 가스 쉴드 아크 용접 방법

(57) 요약

본 발명은, 와이어의 전체 질량 기준으로, 탄소(C) 0.03 내지 0.15질량%; 규소(Si) 0.50 내지 1.50질량%; 망간(Mn) 1.00 내지 3.00질량%; 황(S) 0.020 내지 0.150질량%; 및 티타늄(Ti) 0.01 내지 0.20질량%, 지르코늄(Zr) 0.01 내지 0.20질량%, 란타늄(La) 0.01 내지 0.05질량% 및 세륨(Ce) 0.01 내지 0.05질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 함유하고, 잔부는 철 및 불가피적 불순물인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 제공한다. 상기 솔리드 와이어는 1.0m/분 이상의 고속 용접에서도 안정적으로 비드를 형성할 수 있고, 두께 0.6 내지 10mm의 강판의 용접에서 낮은 고온균열성 및 우수한 피로 강도, 인장 강도 및 인성을 갖는 용접 접합부를 산출할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

야마자키 게이

일본 251-0014 가나가와켄 후지사와시 미야마에 아
자 우라코우치100반 1 가부시키가이샤 고베 세이코
쇼 후지사와 공장 내

우메하라 유

일본 251-0014 가나가와켄 후지사와시 미야마에 아
자 우라코우치100반 1 가부시키가이샤 고베 세이코
쇼 후지사와 공장 내

특허청구의 범위

청구항 1

가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어로서,

와이어의 전체 질량 기준으로,

탄소(C) 0.03 내지 0.15질량%;

규소(Si) 0.50 내지 1.50질량%;

망간(Mn) 1.00 내지 3.00질량%;

황(S) 0.020 내지 0.150질량%; 및

티타늄(Ti) 0.01 내지 0.20질량%, 지르코늄(Zr) 0.01 내지 0.20질량%, 란타늄(La) 0.01 내지 0.05질량% 및 세륨(Ce) 0.01 내지 0.05질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 포함하고,

잔부는 철 및 불가피적 불순물이며,

불가피적 불순물로서의 인(P)의 함량이 0.025질량% 이하이고,

하기 수학적 식 1에 따라 결정되는 A값이 100 이상인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어:

수학적 식 1

$$A = \frac{[Mn] + 20 \times [Ti] + 25 \times [Zr] + 50 \times [La] + 50 \times [Ce]}{[S]}$$

상기 식에서, [Mn], [Ti], [Zr], [La], [Ce] 및 [S]는 각각 와이어의 Mn, Ti, Zr, La, Ce 및 S 함량(질량%)을 나타낸다.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

망간(Mn) 함량이 1.50 내지 3.00질량%인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

황(S) 함량이 0.040 내지 0.150질량%인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어.

청구항 4

가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어로서,

와이어의 전체 질량 기준으로,

탄소(C) 0.02 내지 0.15질량%;

규소(Si) 0.50 내지 1.50질량%;

망간(Mn) 1.00 내지 3.00질량%;

황(S) 0.020 내지 0.150질량%;

니오븀(Nb) 0.005 내지 0.5질량%; 및

바나듐(V) 0.005 내지 0.5질량%, 알루미늄(Al) 0.010 내지 0.5질량%, 크롬(Cr) 0.005 내지 0.5질량%, 니켈(Ni) 0.005 내지 0.5질량% 및 붕소(B) 0.0010 내지 0.0100질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 포함하고;

잔부는 철 및 불가피적 불순물이며,

불가피적 불순물로서의 인(P)의 함량이 0.025질량% 이하인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어.

청구항 5

제 1 항에 따른 솔리드 와이어를 사용하여 두께 0.6 내지 10mm의 연강판 또는 고장력 강판을 용접하는 단계를 포함하는, 가스 쉴드 아크 용접 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <3> 본 발명은 예컨대 자동차 강판과 같은 0.6 내지 10mm 두께의 연강판 및 고장력 강판의 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어에 관한 것이다.
- <4> 가스 쉴드 아크 용접으로 용접된 구조물은 고품질이어야 하고, 그의 제조 방법은 더욱 철저한 노동력 절감 및 고효율성을 제공해야 한다. 예를 들어 자동차 산업에서, 용접 로봇을 사용한 용접의 완전 자동화가 추진되고, 현행의 상업적 제조 라인에서 용접은 약 1.0m/분의 속도로 수행된다. 더욱 고속에서 더욱 고효율을 갖는 용접이 요구되고 있다.
- <5> 상기 강판 구조물은 전세계적 환경 문제에 부응할 상당한 기술적 기회를 갖는다. 이들 중에서, 고장력 강판을 사용한 게이지 감소(치수 감소) 요구가 중량 감소를 통한 연료 효율 개선을 위하여 자동차 산업에서 시급해지고 있다. 그러나, 제조된 용접체는 용접점의 피로 강도가 보통의 모재(base metal)에 비해 증가하지 않고 통상의 연강과 동등한 한편 용접점에서의 부하 응력이 증가하기 때문에 고장력 강판 재료 본래의 피로 강도를 나타내지 않는다.
- <6> 통상적인 충전 금속 재료를 사용하여 용접 효율을 한층 더 개선하기 위해 1.3m/분을 초과하는 고속으로 용접을 실시할 경우 언더컷(undercut) 비드 및 험핑(humping) 비드와 같은 불규칙한 비드가 생성되는 경향이 있다. 게다가, 랩-필렛(lap-fillet) 용접점의 루트 간격(root opening)은 종종 작업의 프레스 정확도의 편차로 인해 변동하고, 1.9mm보다 큰 루트 간격으로 고속 용접이 수행될 경우, 용락(鎔落; burn through) 및 천공(perforation)과 같은 용접 결함이 발생할 수 있다. 따라서, 고속 용접에서도 안정적으로 비드를 생성할 수 있고 루트 갭에 걸쳐 가교시킬 수 있는 넓은 비드를 수득할 수 있는 용접 재료에 대한 강한 수요가 있어 왔다.
- <7> 두께 6mm 이하의 강판의 가스 쉴드 아크 용접을 위한 종래의 솔리드 와이어는 일본 특허공개 제1993-305476호 공보에서 찾을 수 있다. 이 솔리드 와이어는 6mm 두께의 얇은 판을 1.0m/분 이상의 고속으로 용접할 때 용접 작업성 및 용접 품질을 개선하기 위한 것으로, 탄소(C) 0.02 내지 0.10질량%, 규소(Si) 0.8 내지 1.2질량%, 망간(Mn) 1.0 내지 1.8질량%, 인(P) 0.020질량% 이하, 황(S) 0.020 내지 0.100질량%, 알루미늄(Al) 0.005질량% 이하, 산소(O) 0.0070질량% 이하, 및 질소(N) 0.00790질량% 이하를 함유하고 잔부는 철(Fe) 및 불가피적 불순물이며, 여기서 Mn 내지 Si의 비(Mn/Si)는 1.2 내지 1.8이다. 이 기술은 다량의 황을 첨가하여 용융 금속의 표면 장력을 조정함으로써 고속 용접에서의 비드 형성능을 개선하기 위한 것이다.
- <8> 통상적인 용접 재료를 사용하여 모재로서의 강판을 고속 용접하는 것은 불규칙한 비드는 아니더라도 종종 볼록(convex) 비드를 초래한다. 이러한 볼록 비드는 용접의 돌출부에서 응력 집중으로 인해 피로 강도를 종종 감소시킨다. 그 결과, 용접을 통상적인 기법에서보다 더 낮은 용접 속도로 실시해야 한다. 따라서, 이들 구조에서 고장력 강판의 더 광범위한 적용을 위해 높은 피로 강도를 갖는 용접 구조를 제공할 수 있고 만족스러운 용접 효율을 유지할 수 있는 용접 재료를 제공하려는 요구가 있어 왔다.
- <9> 용접점에 압축 응력을 부여할 수 있는 용접 재료가 접합부의 피로 강도를 개선시키기 위해 통상적으로 사용되어 왔다. 구체적으로는, 잔여 응력은 마르텐사이트 변형 개시 온도(이후 "Ms점"으로 지칭함)를 저하시킴으로써 감소되어, 저온에서 변형 팽창을 이용할 수 있게 한다. 예를 들어, 일본 특허공개 제1999-138290호에는 전형적으로 C, Cr, Ni, Si, Mn, Mo 및 Nb 함량에 소정의 조성을 갖는 것을 이용하여 250 내지 170℃의 제어된 Ms점을 갖는 용접 재료를 제안되어 있다.
- <10> 그러나, 상기 종래 기술은 다음의 불리점을 갖는다. 일본 특허공개 제1993-305476호에 기술된 솔리드 와이어에

첨가된 황(S)은 용융 금속의 계면 장력 및 유동성을 크게 변화시키는 원소이고 특정량에서 고속 용접을 실현시킬 수 있다. 그러나, 황은 고온 균열을 촉진시킨다. 이러한 경향(고온 균열 촉진)은 0.02% 이상의 황과 검과 운딩된 충전 금속 재료를 사용하는 용접 금속에서 두드러진다. 특히, 고온 균열은 용접이 1.0m/분 이상의 고속으로 수행될 경우 1.0mm보다 큰 변화하는 루트 간격에서 매우 자주 발생한다.

<11> 황은 고온 균열을 초래할 뿐만 아니라 재료의 강도 및 인성을 감소시키는데, 이는 황의 양이 증가함에 따라 황화물이 끊어지기 때문이다. 일본 공업규격(JIS) G 4804에 따른 황화된 자유 기계가공 강 재료, 즉 기계가공 강은 다량의 황을 함유함으로써 개선된 기계가공성을 갖는다(SUM 24L, 황 0.26 내지 0.35질량% 함유). 그러나, 일반적으로 강도, 인성, 및 다른 기계적 특성을 일정 수준으로 요구하는 용접 금속에서는 황이 이들 특성에 매우 해롭기 때문에 황 함량은 0.03% 이하로 최소화된다. 따라서, 일본 특허공개 제1993-305476호에 기술된 솔리드 와이어는 보통의 와이어보다 훨씬 높은 고온균열성(hot-crack susceptibility) 및 더 낮은 강도 및 인성을 나타낸다.

<12> 일본 특허공개 제1999-183890호에 기술된 용접 재료는 Cr 및 Ni와 같은 고가의 합금 원소를 다량 함유하며, 솔리드 와이어로서 사용될 경우 불량한 인발성을 나타내며, 매우 고가의(고단가) 용접 재료이다. 상기 용접 재료는 강판의 용접에서 요구되는 고속 용접에 대해 불량한 적용성을 갖는데, 상기 용접 금속이 높은 점성을 갖기 때문이다. 또한 점적(droplet) 이동에 대해 저항이 있어, 스패터(splatter)(용접 슬래그)의 원인이 된다. 따라서, 이들 물질은 실제의 용접 라인에 대한 적용성이 불량하다.

<13>

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<14> 이러한 상황에서, 본 발명의 목적은 0.6 내지 10mm의 두께를 갖는 강판의 용접에서 1.0m/분 이상의 고속 용접에서도 안정적으로 비드를 형성할 수 있고, 낮은 고온균열성을 갖고 피로 강도, 인장 강도 및 인성이 우수한 용접 접합부를 산출할 수 있는 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 제공하는 것이다.

<15> 구체적으로는, 본 발명은, 제 1 실시양태에서, 와이어의 전체 질량 기준으로, 탄소(C) 0.03 내지 0.15질량%; 규소(Si) 0.50 내지 1.50질량%; 망간(Mn) 1.00 내지 3.00질량%; 황(S) 0.020 내지 0.150질량%; 및 티타늄(Ti) 0.01 내지 0.20질량%, 지르코늄(Zr) 0.01 내지 0.20질량%, 란타늄(La) 0.01 내지 0.05질량% 및 세륨(Ce) 0.01 내지 0.05질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 함유하고, 잔부는 철 및 불가피적 불순물이며, 불가피적 불순물로서의 인(P)의 함량이 0.025질량% 이하이고, 하기 수학적 1에 따라 결정되는 A값이 100 이상인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 제공한다:

$$A = \frac{[Mn] + 20 \times [Ti] + 25 \times [Zr] + 50 \times [La] + 50 \times [Ce]}{[S]}$$

<16>

<17> 상기 식에서, [Mn], [Ti], [Zr], [La], [Ce] 및 [S]는 각각 와이어의 Mn, Ti, Zr, La, Ce 및 S 함량(질량%)을 나타낸다.

<18> 본 발명에 따른 솔리드 와이어는 와이어의 전체 중량 기준으로 0.020 내지 0.150질량%의 특정한 황(S) 함량을 가지며, 이로써, 용융 금속이 후방으로 덜 유동하고 폭 방향으로 더 유동할 수 있게 된다. 또한, 상기 솔리드 와이어는 1.00 내지 3.00질량%의 망간(Mn) 함량을 갖는다. 이로써 MnS의 결정화가 유발되어, 솔리드 와이어의 공용 온도가 상승하고 고온균열성이 감소하게 된다. 게다가, 솔리드 와이어는 황화물을 형성하는 경향이 있는 Ti, Zr, La 및 Ce로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 원소를 적당량 함유한다. 이로써 상기 원소를 함유하고 높은 용점을 갖는 황화물이 형성되어 황이 모상(matrix phase)에 분산된다. 이로써, 입계에서의 황화물의 형성이 방지된다. 또한, 솔리드 와이어에서, 수학적 1에 따라 결정되는 A값은 100 이상으로 설정되며, 이에 의해 고속 용접에서 비드가 안정적으로 형성되며, 고온균열성이 감소되고 피로 강도가 우수한 용접 접합부가 고장력 강판의 용접에서도 얻어질 수 있다.

<19> 솔리드 와이어는 1.50질량% 이상의 망간(Mn) 함량을 가질 수 있다. 이는 고온균열성을 크게 감소시킬 수 있다.

<20> 또한, 솔리드 와이어는 0.040질량% 이상의 황(S) 함량을 가질 수 있다. 이로써 고속 용접에서 비드가 더욱 안정적으로 형성될 수 있고 피로 강도가 개선된다.

<21> 또한, 본 발명은, 제 2 실시양태에서, 와이어의 전체 질량 기준으로, 탄소(C) 0.02 내지 0.15질량%; 규소(Si)

0.50 내지 1.50질량%; 망간(Mn) 1.00 내지 3.00질량%; 황(S) 0.020 내지 0.150질량%; 니오븀(Nb) 0.005 내지 0.5질량%; 및 바나듐(V) 0.005 내지 0.5질량%, 알루미늄(Al) 0.010 내지 0.5질량%, 크롬(Cr) 0.005 내지 0.5질량%, 니켈(Ni) 0.005 내지 0.5질량% 및 붕소(B) 0.0010 내지 0.0100질량%를 함유하고; 잔부는 철 및 불가피적 불순물이며, 불가피적 불순물로서의 인(P)의 함량이 0.025질량% 이하인 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 제공한다.

- <22> 본 발명에 따른 솔리드 와이어는 황 및 다른 합금 원소의 함량이 적절히 조정되었기 때문에 고장력 강판의 용접에서 고속 용접에서도 비드를 안정적으로 형성할 수 있고, 감소된 고온균열성을 갖고 피로 강도, 인장 강도 및 인성이 우수한 용접 접합부를 제조할 수 있다.
- <23> 게다가, 본 발명은, 제 3 실시양태에서, 두께 0.6 내지 10mm의 고장력 강판을 상기 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 사용하여 용접하는 단계를 포함하는, 가스 쉴드 아크 용접을 수행하는 방법을 제공한다.
- <24> 본 발명에 따르면, 고속 용접에서도 비드가 안정적으로 형성될 수 있고, 두께 0.6 내지 10mm의 고장력 강판의 용접에서도 감소된 고온균열성을 갖고 피로 강도, 인장 강도 및 인성이 우수한 용접 접합부가 수득될 수 있다.
- <25> 본 발명은 슬래그가 적고 우수한 전착 도장성을 갖는 넓고 적절한 비드를 형성할 수 있다. 이러한 이점은 두께 0.6 내지 10mm의 강판을 1.0m/분 이상의 고속으로 용접할 경우 특히 두드러진다. 결론적으로, 안정적인 형상을 갖는 비드가 강판의 고속 용접에서 형성될 수 있고, 피로 강도가 우수한 용접 접합부가 수득될 수 있다. 게다가, 고온균열성이 감소될 수 있고, 적당한 강도 및 인성이 확보될 수 있다.
- <26> 본 발명의 추가의 목적, 특징 및 이점은 첨부된 도면을 참고하여 바람직한 실시양태에 관한 하기의 설명으로부터 명백해질 것이다.

발명의 구성 및 작용

- <27> 상기 목적을 달성하기 위해 예의 검토한 결과, 본 발명자들은 두께 0.6 내지 10mm의 강판의 용접에서 불규칙 비드 형성, 황-유도된 고온 균열, 및 용접 금속에서 피로 강도, 강도 및 인성의 감소에 하기 현상이 일어남을 알아냈다.
- <28> 규칙적 용접 비드의 용융지(熔融池) 표면 상의 용융 금속은 고온부로부터 저온부로 후방을 향해 흡인되고, 흡인의 강도는 온도 차로 인한 표면 장력 구배, 및 용융지의 길이에 비례한다. 1.0m/분 이상의 고속의 용접에서 용융지는 용접 선 방향으로 연장되며, 용융 금속의 유량은 크게 높아진다. 이는 언더컷 비드 및 험핑 비드와 같은 불규칙 비드를 유발하는 인자 중 하나이다.
- <29> 용융 금속 고화 온도의 원래 범위는 비교적 좁으나, 황은 혼적량으로도 고화 온도 범위를 넓히는 작용을 한다. 이 단계에서, 황은 모상의 고화에 수반되는 덴드라이트 배열의 잔여 용융물에서 풍부하게 되고, 상기 잔여 용융물의 공융 고화로 인해 모상 고화의 최종 단계에서 황화물이 정출(晶出)된다. Fe-FeS의 공융 온도는 철의 용점보다 상당히 낮다. 고온 균열은 고화 최종 단계에서 입계(粒界)에서의 이러한 저융점 액상 및 황화물의 분정(分晶; segregation)에 기인한다.
- <30> 황은 고온 균열을 유발할 뿐만 아니라 그의 양이 증가함에 따라 황화물을 굵게 하여, 재료의 연신율 및 인성을 감소시킨다. 일본 공업규격(JIS) G 4804에 따른 황화된 자유 기계가공 강과 같은 강, 즉 기계가공 강은 다량의 황을 함유함으로써 개선된 기계가공성을 갖는다(SUM 24L, 황 0.26 내지 0.35질량% 함유). 그러나, 황 함량은 일반적으로 연신율, 인성 및 다른 기계적 특성을 일정 수준으로 요구하는 용접 금속에서 0.03% 이하로 최소화되는데, 황의 존재가 이들 특성에 매우 해롭기 때문이다.
- <31> 게다가, 고장력 강판의 용접 접합부의 피로 한계는 모재로서의 보통 강판의 피로 한계보다 낮을 수 있다. 이는 용접의 선단(toe)에서 발생하는 국소 응력 집중에 주로 기인한다. 도 1은 램-필렛 용접 접합부의 용접 선단을 나타내는 도면이다. 도 1에 도시된 접합부에서, 모재(하판)(1a)는 비스듬하게 하향으로 다른 모재(상판)(1b)와 용접된다. 본 발명자들은 응력 집중이 모재(1a)의 표면과 용접 비드(2)의 표면이 교차하는 부분, 즉 용접 선단의 형상에 따라 크게 변화한다는 것, 및 용접 접합부의 피로 강도는 선단 직경 p 를 0.3mm보다 크게 설정함으로써 증가한다는 것을 알아냈다. 그러나, 선단 직경 p 는 고장력 강판의 고속 용접에서 비드가 불룩하게 되는 경향이 있기 때문에 작아져, 고장력 강판의 원래 피로 강도가 충분히 나타나지 않을 수 있다.
- <32> 황(S)은 용융 금속의 표면 장력을 감소시키고 온도차로 인한 표면 장력 구배를 변화시키는 원소이다. 따라서,

본 발명자들은 황 및 다른 원소의 함량을 조정하고 특정함으로써 성공적으로 용융 금속이 후방으로는 덜 유동하지만 폭 방향으로 더 유동하도록 할 수 있었다. 이리하여, 고속 용접에서도 언더컷 및 험핑에 저항성이 있는 비드를 산출하는 조성물을 발견했다. 구체적으로는, 와이어의 전체 질량 기준으로 황 함량을 0.020 내지 0.150 질량%로 설정함으로써 용융 금속이 후방으로 덜 유동하지만 폭 방향으로 더 유동하도록 할 수 있었다. 이로써, 도 1에 도시된 선단 직경 p 가 0.3mm 이상이 되어 고장력 강판의 고속 용접에서 용접 접합부의 피로 강도가 개선될 수 있다.

<33> 황의 첨가는 상기한 바와 같이 고온균열성을 증가시킨다. 황-유도된 고온균열성은 공용 온도를 상승시킴으로써 저하될 수 있다. 이는 황에 대해 높은 친화성을 갖는 적당량의 원소를 첨가하여 고용점을 갖는 화합물을 형성함으로써 모상에 황을 분산시킴에 의해 달성될 수 있다. 구체적으로는, 망간 함량을 와이어의 전체 중량 기준으로 1.00 내지 3.00질량%로 설정함으로써, MnS가 정출하여 공용 온도가 상승할 수 있다. 황은 또한 Ti, Zr, La 및 Ce 중 1종 이상을 적절한 양으로 혼입시킴으로써 모상에 분산될 수 있는데, 이들 원소가 황화물을 형성함으로써 황 함유 고용점 화합물을 형성하는 작용을 하기 때문이다. 이는 입계에서 황화물의 형성을 실질적으로 방지할 수 있다.

<34> 게다가, 하기 수학적 식 1에 따라 결정되는 A 값이 100 이상이 되도록 합금 성분의 함량을 조정함으로써 고장력 강판의 용접에서도 안정적인 형상의 비드가 수득될 수 있고, 고온균열성이 감소되고, 피로 강도가 우수한 용접 접합부가 수득될 수 있다:

<35> 수학적 식 1

$$A = \frac{[Mn] + 20 \times [Ti] + 25 \times [Zr] + 50 \times [La] + 50 \times [Ce]}{[S]}$$

<36>

<37> 상기 식에서, [Mn], [Ti], [Zr], [La], [Ce] 및 [S]는 각각 와이어의 Mn, Ti, Zr, La, Ce 및 S 함량(질량%)을 나타낸다.

<38> 상기 지견에 기초하여, 본 발명자들은 본 발명의 제 1 실시양태로서의 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 달성했다. 이 솔리드 와이어는 안정적인 형상을 갖는 비드를 형성할 수 있으며 두께 0.6 내지 10mm의 고장력 강판의 가스 쉴드 아크 용접에서 고속 용접에서도 낮은 고온균열성을 갖고 피로 강도가 우수한 용접 접합부를 형성할 수 있다.

<39> 고온균열성은 상기한 바와 같이 황의 함량이 증가함에 따라 증가한다. 고온균열성은 무엇보다도 고온 균열의 주원인이 되는 저용점 화합물 FeS의 형성을 방지함으로써 저해된다. 본 기술에 따르면, 저용점 화합물 FeS의 형성은 황과의 친화성을 가져 공용 온도를 상승시키는 원소를 혼입시켜 형성된 황화물을 모상에 분산시킴으로써 방지된다. 두번째 해법으로서, 고온균열성은 높은 경화성을 갖는 원소를 첨가하여 FeS를 균일하게 분산시킴으로써 분정을 방지함에 의해 저하될 수 있는데, 이는 고화의 결과로 형성된 결정립의 크기가 감소되고, 그에 따라 입계의 표면적이 증가하기 때문이다. 이에 기초하여, 본 발명자들은 고온균열성을 저하시키기 위해서는 상기 원소의 효과적인 함량이 밝혀져야 한다는 것을 알아냈다.

<40> 상기 지견에 기초하여, 본 발명자들은 본 발명의 제 2 실시양태로서의 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어를 달성했다. 이 솔리드 와이어는 고속 용접에서도 안정적인 형상을 갖는 비드를 수득할 수 있고 고장력 강판의 용접에서 낮은 고온균열성을 갖고 우수한 피로 강도, 인장 강도 및 인성을 나타내는 용접 접합부를 생성할 수 있다.

<41> (1) 황 함량을 0.020 내지 0.150질량%로 설정함으로써 용융 금속이 후방으로 덜 유동하고 폭 방향으로 더 유동할 수 있다.

<42> (2) Mn 함량을 1.00 내지 3.00질량%로 설정함으로써 MnS가 정출되고 공용 온도가 상승함으로써 균열성이 저하될 수 있다.

<43> (3) 니오븀(Nb) 0.005 내지 0.50질량%, 바나듐(V) 0.005 내지 0.5질량%, 알루미늄(Al) 0.010 내지 0.5질량%, 크롬(Cr) 0.005 내지 0.5질량%, 니켈(Ni) 0.005 내지 0.5질량%, 및 붕소(B) 0.001 내지 0.010질량% 중 1종 이상을 혼입시킴으로써 경화성이 증가하고 결정립이 더 미세해진다. 상기 원소를 적당량 혼입시킴으로써, 고화 결과로 형성된 조직(texture)이 더 미세하게 되어 입계의 표면적이 증가한다. FeS 액상이 분정되는 것이 방지되고 분산되며, 이는 고온균열성을 감소시킨다. FeS 액상은 입계 및 덴드라이트 배열에서 형성되며 균열을 초

래한다. 상기 원소들은 또한 고온균열성을 저하시키는 역할을 하는데, 이는 더 미세한 결정립을 형성함으로써 인성을 향상시키고 용접시에 팽창 및 수축으로 인한 고화시 FeS 액상의 응력 집중을 완화시키기 때문이다.

<44> (4) (3)에 열거된 추가의 원소는 슬래그의 형성에 대해 저항성이 있다. 즉, 이들은 슬래그를 덜 형성하고 적절한 비드를 형성하는데 기여한다. 따라서, 적당한 양의 상기 원소는 고온균열성을 감소시키고 상기 원소의 이점을 해치지 않고 적당한 강도 및 인성을 확보할 수 있다.

<45> 본 발명에 따른 용접 와이어의 구성을 규정하는 이유를 이하에 설명한다. 먼저, 본 발명의 제 1 실시양태로서의 가스 쉴드 아크 용접용 솔리드 와이어의 구성을 기술할 것이다.

<46> 탄소 함량: 0.03 내지 0.15질량%

<47> 탄소(C)는 용접된 금속의 강도를 확보하는데 필요한 원소이고 탈산화를 가속화하는데 효과적이다. 그러나, 용접 금속은 탄소 함량이 와이어의 전체 질량 기준으로 0.03질량% 미만인 경우 불충분한 강도를 갖는다. 한편, 용접 금속은 탄소 함량이 0.15질량%를 초과하면 인성이 감소하고 고온균열성이 증가한다. 따라서, 탄소 함량은 와이어의 전체 중량을 기준으로 0.03 내지 0.15질량%로 설정한다.

<48> 규소 함량: 0.50 내지 1.50질량%

<49> 규소(Si)는 탈산화를 크게 촉진시키는 원소이고, 강의 강도를 향상시키는데 필요하며, 비드의 추종성(conformability)을 개선하는 작용을 한다. 그러나, 이들 이점은 규소 함량이 와이어의 전체 질량을 기준으로 0.50질량% 미만이면 수득되지 않는다. 한편, 점적의 박리성 및 용접 금속의 인성은 규소 함량이 1.50질량%를 초과하면 손상된다. 따라서, 여기서 규소 함량은 와이어의 전체 질량을 기준으로 0.50 내지 1.50질량%로 설정한다.

<50> 망간 함량: 1.00 내지 3.00질량%

<51> 망간(Mn)은 규소와 같이 탈산화를 촉진하는데 효과적인 원소이고 용접 금속의 기계적 특성을 개선하는 작용을 한다. 또한, MnS를 정출시켜 공용 온도를 상승시킴으로써 고온균열성을 감소시키는 작용을 한다. 그러나, 망간 함량이 와이어의 전체 질량을 기준으로 1.00질량% 미만이면 고온균열성이 증가한다. 한편, 용접 금속의 망간 함량이 3.00질량%를 초과하여 너무 과량이면 인성이 저하한다. 따라서, 망간 함량은 와이어의 전체 질량을 기준으로 1.00 내지 3.00질량%로 설정한다. 바람직하게는 1.50질량% 이상으로 설정한다.

<52> 황 함량: 0.020 내지 0.150질량%

<53> 황(S)은 용융 금속의 표면 장력을 감소시키는 작용을 하고, 적당량으로 첨가되었을 경우 용접 선단에서 비드와 모재 사이의 추종성을 향상시키고 용접 접합부의 피로 강도를 향상시키는 역할을 한다. 그러나, 이러한 이점은 황 함량이 와이어의 전체 질량 기준으로 0.020질량% 미만이면 수득되지 않는다. 한편, 다른 원소의 함량이 조정되었을 경우라도, 황 함량이 0.150질량%를 초과하면 고온 균열이 발생하는 경향이 있다. 따라서, 황 함량은 와이어의 전체 질량 기준으로 0.020 내지 0.150질량%로 설정한다. 바람직하게는 0.040질량% 이상으로 설정하며 더욱 바람직하게는 0.060질량% 이상으로 설정한다.

<54> "티타늄(Ti) 0.01 내지 0.20질량%, 지르코늄(Zr) 0.01 내지 0.20질량%, 란타늄(La) 0.01 내지 0.05질량% 및 세륨(Ce) 0.01 내지 0.05질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상"

<55> 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 란타늄(La) 및 세륨(Ce)은 황과 용이하게 결합하여 고온용융 황화물을 형성하는 원소이다. 황은 상기 원소 중 1종 이상을 첨가함으로써 모상에 분산될 수 있다. 그러나, 이러한 이점은 각 원소의 함량이 와이어의 전체 질량 기준으로 0.01질량% 미만이면 상기 원소 중 2종 이상을 솔리드 와이어에 첨가한다 해도 수득되지 않는다. 한편, 티타늄 함량 또는 지르코늄 함량이 0.20질량%를 초과하면 점적이 굵어지고, 점적의 이동이 방해되며, 슬래그가 과잉으로 형성되어 용접 작업성을 해친다. 따라서, 첨가될 경우 Ti 및/또는 Zr의 함량은 와이어의 전체 질량 기준으로 0.01 내지 0.20질량%로 설정한다. 란타늄 또는 세륨의 함량이 0.05 질량%를 초과하면 황화물이 굵어지고, 제강 수율이 저하됨으로써 비용이 증가한다. 따라서, 첨가될 경우 La 및/또는 Ce의 함량은 와이어의 전체 질량 기준으로 0.01 내지 0.05질량%로 설정한다.

<56> 인 함량: 0.025질량% 이하

<57> 인(P)은 불가피적 불순물로서 강을 오염시킨다. 인은 고온균열성을 증가시키는 원소이며, 그 함량은 바람직하게는 감소되어야 한다. 그러나, 와이어의 전체 질량 기준으로 0.025질량% 함량의 인은 무방하다. 따라서, 인 함량은 와이어의 전체 질량 기준으로 0.025질량% 이하로 제어된다.

<58> "A": 100 이상

<59> 본 발명에 따르면, 하기 수학적 식 1에 따라 결정되는 A값은 100 이상으로 특정된다. 수학적 식 1에서, [Mn], [Ti], [Zr], [La], [Ce] 및 [S]는 각각 와이어의 Mn, Ti, Zr, La, Ce 및 S 함량(질량%)을 나타낸다. 고온균열성은 A값이 100 미만이면 증가한다. 한편, 와이어의 전체 질량 기준으로 Mn, Ti, Zr, La, Ce 및 S 함량을 A값이 100 이상이 되도록 조정함으로써, MnS가 정출하여 공용 온도가 상승하고, 저융점 액상 및 화합물이 고화의 최종 단계에서 입계에서 분리되는 것이 방지된다. 게다가, Ti, Zr, La 및 Ce 중 1종 이상을 함유하는 고온용융 황화물이 형성될 수 있다. 따라서, 고온균열성이 크게 감소할 수 있다. 하기 수학적 식 1에서 계수는 균열 시험 결과를 바탕으로 규정되며, 이들 계수는 아마도 개별 원소의 황화물 형성 경향에 크게 영향받는다.

<60> 수학적 식 1

$$A = \frac{[Mn] + 20 \times [Ti] + 25 \times [Zr] + 50 \times [La] + 50 \times [Ce]}{[S]}$$

<61>

<62> 본 발명에 따른 솔리드 와이어에 함유되는 불가피적 불순물은 예를 들어 인(P) 이외에 Cu, Al, Ni, Cr, Mo 및 B를 포함한다.

<63> 다음으로, 본 발명의 제 2 실시양태로서의 가스 쉴드 아크 용접용 용접 와이어의 조성을 규정한 이유를 기술할 것이다.

<64> 탄소 함량: 0.02 내지 0.15질량%

<65> 탄소(C)는 용접된 금속의 강도를 확보하는데 필요한 원소이고 탈산화 원소로서 효과적이다. 용접 금속의 강도는 탄소 함량이 와이어의 전체 질량 기준으로 0.02질량% 미만인 경우 불충분하다. 한편, 탄소 함량이 0.15질량%를 초과하면 용접 금속의 인성이 저하하고 고온균열성이 증가한다. 탄소를 과량으로 첨가하면 점적 박리성이 손상되어 다량의 스패터의 원인이 된다. 이는 불량한 용접 작업성 및 다량의 슬래그를 초래한다. 따라서, 본 발명에서 탄소 함량은 0.02 내지 0.15질량%로 설정한다.

<66> 규소 함량: 0.50 내지 1.50질량%

<67> 규소(Si)는 또한 탈산화에 크게 기여하는 원소이고, 강의 강도를 개선하며, 비드의 추종성을 개선한다. 규소 함량이 와이어의 전체 질량을 기준으로 0.50질량% 미만이면 이러한 이점이 불충분하고, 비드는 불량한 선단 형상과 함께 손상된 추종성을 갖고, 이는 응력 집중 및 저하된 피로 강도를 초래한다. 규소 함량은 바람직하게는 0.60% 이상이다. 한편, 규소 함량이 1.50질량%를 초과하면 용융지는 과잉의 점도(유동저항성)를 갖고, 이는 고속 용접에서 종종 험평 비드를 초래한다. 과량의 규소는 점적 박리성을 해치고 다량의 스패터의 원인이 된다. 이는 불량한 용접 작업성 및 다량의 슬래그를 초래한다. 규소 함량은 더욱 바람직하게는 1.20질량% 이하이다.

<68> 망간 함량: 1.00 내지 3.00질량%

<69> 망간(Mn)은 규소(Si)와 같이 탈산화 원소로서 유용한 원소이고 용접 금속의 기계적 특성을 개선하는 작용을 한다. 또한, MnS의 결정화의 결과로 공용 온도를 상승시킴으로써 고온균열성을 저하시키는 작용을 한다. 망간 함량이 와이어의 전체 질량을 기준으로 1.00질량% 미만이면 고온균열성이 증가하고, 용접 금속은 불충분한 강도를 갖는다. 한편, 용접 금속의 망간 함량이 3.00질량%를 초과하면 용융지가 과도한 점성(유동저항성)을 가져, 고속 용접에서 험평 비드 및 다량의 슬래그를 종종 초래한다. 따라서, 망간 함량은 1.00 내지 3.00질량%로 설정한다. 더욱 바람직하게는 1.00 내지 2.00질량%이다.

<70> 인 함량: 0.025질량% 이하

<71> 인(P)은 고온균열성을 증가시키는 원소이다. 인 함량은 합금 원소가 첨가된 경우에도 고온용융 인 화합물이 형성될 수 없기 때문에 바람직하게는 최소화된다. 그러나, 0.025질량%의 인은 무방하다.

<72> 황 함량: 0.020 내지 0.150질량%

<73> 황(S)은 용융 금속의 표면 장력을 감소시키는 작용을 하고, 적당량으로 첨가되었을 경우 용접 선단에서 비드와 모재 사이의 추종성을 향상시키고 용접 접합부의 피로 강도를 향상시키는 역할을 한다. 그러나, 하기의 특정한 원소를 첨가하지 않은 다량의 황은 결정립 및 입계에서 형성된 황화물을 굵게 함으로써, 용접 금속의 강도 및 인성을 저하시킨다. 상기 이점은 황을 0.020질량% 이상의 함량으로 첨가함으로써 획득될 수 있다. 한편, 다른

원소의 함량이 조정되었을 경우라도, 황 함량이 0.150질량%를 초과하면 고온 균열이 발생하는 경향이 있다. 따라서, 황 함량은 0.020 내지 0.150질량%로 설정한다. 바람직하게는 0.040 내지 0.150질량%로 설정하며 더욱 바람직하게는 0.050 내지 0.150질량%로 설정한다.

<74> 니오븀 함량: 0.005 내지 0.50질량%

<75> 니오븀(Nb)은 황에 대해 친화성이 있으며 용이하게 황화물을 형성한다. 적당량의 니오븀은 고온 균열을 초래하는 FeS의 형성을 방지한다. 게다가, 경화성을 향상시켜 결정립을 더 미세하게 만드는 원소이기 때문에 고온 균열성을 감소시키고 적당한 강도 및 인성을 확보하는 작용을 한다. 그러나, 이들 이점은 니오븀 함량이 0.005질량% 미만이면 수득되지 않고 고온균열성이 증가한다. 니오븀 함량은 더욱 바람직하게는 0.02질량% 이상이다. 한편, 니오븀 함량이 0.50질량%를 초과하면 상기 이점은 포화하고, 고화시에 입계 및 덴드라이트 배열에서 분정이 일어나고, 역으로 고온균열성이 증가한다. 과량의 니오븀은 솔리드 와이어의 제조 비용을 증가시키고, 용융지의 점도(유동저항성)를 증가시키며, 험핑 비드를 초래하고, 고속 용접에서 스패터를 증가시킨다.

<76> "바나듐(V) 0.005 내지 0.5질량%, 알루미늄(Al) 0.010 내지 0.5질량%, 크롬(Cr) 0.005 내지 0.5질량% 및 니켈(Ni) 0.005 내지 0.5질량%로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상"

<77> 바나듐(V), 알루미늄(Al), 크롬(Cr) 및 니켈(Ni)은 경화성을 증가시키는 원소이고 용접 결과로 형성된 용접 금속의 결정립을 더욱 미세하게 하는 작용을 하여, 적당한 강도 및 인성을 확보하고, 고온균열성을 감소시킨다. 이들 이점을 나타내기 위해, V, Cr 및 Ni 각각의 함량은 0.005질량% 이상이어야 하고, Al 함량은 0.010질량% 이상이어야 한다. 더욱 바람직하게는, V, Cr 및 Ni 각각의 함량은 0.02질량% 이상이고, Al 함량은 0.030질량% 이상이다. 한편, 상기 원소의 함량이 각각 0.5질량%를 초과하면 솔리드 와이어의 제조 비용이 상승하고, 용융지의 점도(유동저항성)가 증가하여, 고속 용접에서 험핑 비드 및 증가된 양의 스패터를 초래한다.

<78> 붕소 함량: 0.001 내지 0.010질량%

<79> 붕소(B)는 경화성을 증가시키는 원소이고, 용접 결과로 형성된 용접 금속의 결정립을 미세하게 하고, 적당한 강도 및 인성을 확보하며, 고온균열성을 감소시키는 작용을 한다. 이들 이점을 나타내기 위해, 붕소 함량은 0.001질량% 이상이어야 한다. 한편, 여기서 붕소 함량의 상한은 0.010질량% 이하로 설정하는데, 붕소 함량이 0.010질량%를 초과하면 고온균열성이 증가하기 때문이다. 따라서, 붕소 함량은 0.001 내지 0.010질량%로 설정한다.

<80> 본 발명에 따른 용접 방법

<81> 본 발명의 제 1 및 제 2 실시양태에 따른 솔리드 와이어는 0.6 내지 10mm의 두께를 갖는 강판의 가스 쉴드 아크 용접에 사용된다. 바람직한 용접 방법 및 용접 조건은 다음과 같다. 본원에서 가스 쉴드 아크 용접 방법은 CO₂ 용접, 금속 활성 가스(MAG) 용접, 금속 불활성 가스(MIG) 용접, 및 텅스텐 불활성 가스(TIG) 용접과 같은 임의의 용접 방법일 수 있다. 출력 전력 또는 전류 및 용접 속도와 같은 용접 조건은 전형적으로 가공 기계의 유형, 작업편의 두께 및 형상에 따라 설정될 수 있다. MAG 펄스 용접, MIG 펄스 용접, 또는 TIG 펄스 용접이 더욱 효과적이다. 표적 용접 접합부는 접합될 부분에 따른 임의의 적당한 것, 예컨대 버트(butt) 접합부 또는 랩 접합부일 수 있다. 본 발명은 임의의 접합부에 적용될 수 있다.

<82> 펄스 용접기

<83> 펄스 용접기는 고속 용접성 및 아크 안정성을 확보하고, 강판 용접의 발연을 감소시키기 위해 본원에서 바람직하게 사용된다. 펄스 조건은 350A 내지 600A의 피크 전류, 30A 내지 100A의 베이스 전류, 1피크에서 0.8 내지 5.0밀리초 동안(펄스 발생의 시작부터, 일정한 피크를 통하여 펄스 하락의 종말까지)일 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 본 발명에서 용접은 상기 조건 하에 수행될 수 있다.

<84> 0.6 내지 10mm 두께의 강판

<85> 보통의 역-극성 아크 용접은 강판의 두께가 0.6mm 미만이면 아크력으로 인해 강판의 관통 및 용락이 일어나기 때문에 수행하기 곤란하다. 한편, 두께가 10mm를 초과하면, 변형력이 증가하여 열 팽창 및 열 수축으로 인한 용접 금속의 응력변형이 과도하게 적용되고, 용융지가 더 신속하게 냉각되기 때문에 고온 균열 위험이 증가한다. 게다가, 본 발명에 따른 와이어를 사용하여 용접으로 형성된 용융지는 낮은 점도(유동저항성)를 가져, T형 수평 필렛 용접이 큰 레그(leg) 길이 1패스로 실시될 경우 상부 레그가 흘러내린다. 따라서, 피용접 강판의 두께는 바람직하게는 0.6 내지 10mm이다. 피용접 강판의 강도에 대해서는, 본 발명은 표준 연강판으로

부터 고장력 강판까지 광범위한 강판에 적용될 수 있다. 강판의 강도의 상한은 특별히 한정되지 않는다.

<86> 시험예 1

<87> 본 발명의 이점에 관하여 하기에 몇몇 실시예를 참조하여 본 발명의 범위로부터 벗어난 비교예와 비교하면서 더욱 상세히 설명할 것이다. 먼저, 본 발명의 제 1 실시양태에 따른 솔리드 와이어에 관한 시험예 1을 설명할 것이다.

<88> 시험예 1에서, 가스 쉘드 아크 용접을 하기 표 1의 조성을 갖는 솔리드 와이어를 사용하여 수행했다. 고속 용접에서의 비드 형성능, 용접 금속의 기계적 특성, 선단 직경 ρ , 고온균열성, 및 용접 작업성을 평가했다. 표 1의 솔리드 와이어의 조성에서 잔부는 철 및 불가피적 불순물이다.

[표 1]

	번호	조성(질량%)									A
		C	Si	Mn	S	Ti	Zr	La	Ce	P	
실시예	1	0.035	0.72	2.12	0.065	0.07	0.03	0.03	0.03	0.010	111.8
	2	0.138	0.84	2.32	0.052	0.06	0.12	-	-	0.015	125.4
	3	0.061	0.53	1.72	0.082	0.10	0.15	-	0.03	0.014	109.4
	4	0.085	1.44	2.08	0.071	0.07	0.18	-	-	0.005	112.4
	5	0.088	1.05	1.09	0.048	-	0.16	-	-	0.009	106.0
	6	0.075	0.88	1.55	0.062	0.07	0.14	-	-	0.003	104.0
	7	0.045	1.21	2.88	0.117	0.11	0.17	0.01	0.05	0.006	105.4
	8	0.067	0.89	1.66	0.022	-	0.05	-	-	0.021	132.3
	9	0.051	0.78	2.51	0.139	0.15	0.19	0.04	0.04	0.018	102.6
	10	0.071	0.95	1.92	0.064	0.01	0.16	0.01	-	0.005	103.4
	11	0.094	1.14	2.24	0.094	0.17	0.18	-	-	0.007	107.9
	12	0.081	1.08	2.42	0.042	0.09	-	-	-	0.012	100.5
	13	0.112	1.31	1.91	0.036	0.08	0.01	-	-	0.019	104.4
	14	0.050	0.69	2.65	0.102	0.05	0.18	0.03	0.03	0.12	109.3
	15	0.126	1.08	1.95	0.055	0.10	0.05	0.01	-	0.013	103.6
	16	0.086	0.81	2.75	0.121	0.16	0.19	0.04	-	0.008	105.0
	17	0.072	0.81	2.13	0.037	-	-	0.04	-	0.005	111.6
	18	0.048	0.94	1.77	0.062	0.09	0.16	-	0.01	0.022	130.2
	19	0.077	1.25	2.58	0.084	0.13	0.06	-	0.05	0.016	109.3
	20	0.086	0.69	1.85	0.035	-	-	-	0.04	0.007	110.0
비교예	21	0.024	0.78	1.88	0.039	0.05	0.05	0.01	0.01	0.014	131.5
	22	0.155	0.91	1.94	0.054	0.02	0.05	0.01	0.01	0.012	85.0
	23	0.054	0.45	1.77	0.042	-	0.12	-	0.01	0.007	125.5
	24	0.084	1.54	2.24	0.061	0.03	0.07	0.01	0.03	0.014	108.0
	25	0.069	1.04	0.96	0.026	0.07	-	-	-	0.006	90.8
	26	0.078	1.23	3.03	0.119	0.17	0.18	0.01	0.02	0.009	104.5
	27	0.121	1.11	2.56	0.054	0.05	0.12	0.01	-	0.027	130.7
	28	0.080	1.05	1.32	0.017	0.02	0.02	-	-	0.019	130.6
	29	0.075	0.67	2.79	0.153	0.17	0.18	0.03	0.03	0.005	89.5
	30	0.085	0.55	1.89	0.069	0.006	0.17	-	-	0.003	90.7
	31	0.047	0.81	1.63	0.073	0.22	0.04	-	0.02	0.007	110.0
	32	0.062	1.23	2.34	0.093	0.12	0.005	0.01	0.01	0.015	63.1
	33	0.077	1.39	2.47	0.122	0.07	0.22	0.04	0.03	0.023	105.5
	34	0.067	0.71	2.05	0.066	0.09	0.03	0.005	0.01	0.018	81.1
	35	0.081	1.09	2.66	0.103	0.11	0.05	0.01	0.005	0.007	66.6
	36	0.067	0.95	1.69	0.062	-	-	-	-	0.004	27.3
	37	0.082	0.88	1.08	0.023	-	-	-	-	0.007	47.0
	38	0.052	1.01	1.73	0.094	-	-	-	-	0.005	18.4
	39	0.081	1.12	1.64	0.010	-	-	-	-	0.008	164.0
	40	0.075	0.89	1.41	0.005	-	-	-	-	0.005	282.0

<89>

【표 2】

조성(질량%)					
C	Si	Mn	P	S	잔부
0.04	0.02	1.35	0.013	0.003	Fe 및 불가피적 불순물

<90>

<91> 다음으로, 특성의 평가 방법을 설명할 것이다.

<92> 용접 금속의 기계적 특성

<93> 용접 금속의 기계적 특성은 일본공업규격(JIS) Z 3121에 규정된 버트 용접 접합부에 대한 장력 시험 방법, 및 JIS Z 3128에 규정된 용접 접합부에 대한 충격 시험 방법에 의해 결정했다. 이들 시험에서, 시험 온도 -20℃에서 560N/mm² 이상의 인장 강도 및 샤르피(Charpy) 충격 시험에서 100J 이상의 흡수 에너지를 갖는 샘플을 "양호"로 평가하고, 시험 온도 -20℃에서 560N/mm² 미만의 인장 강도 및 샤르피 충격 시험에서 100J 미만의 흡수 에너지를 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<94> 고속 용접에서의 비드 형성능

<95> 고속 용접에서의 비드 형성능은 다음과 같이 평가했다. 표 2의 조성을 갖고 두께가 2.3mm인 고장력 강판의 샘플 랩 접합부를 쉴드 가스로서 Ar 80부피% 및 CO₂ 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 1.0mm의 루트 간격, 200 내지 300A의 용접 전류, 및 1.3 내지 1.5m/분의 용접 속도로 MAG 펄스 용접했다. 언더컷, 험핑 비드, 용락 및 천공이 없고 용접 전체에서 껍에 걸쳐 가교될 수 있는 샘플을 "양호"로 평가했고, 언더컷, 험핑 비드, 용락 또는 천공과 같은 결함을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<96> 용접 작업성

<97> 용접 작업성은 고속 카메라를 사용하여 아크 안정성 및 점적 이동의 규칙성을 관찰하고, 분산된 스패터의 양을 결정하여 평가했다. 이러한 절차에서, 펄스 없는 MAG 용접을 쉴드 기체로서 Ar 80부피% 및 CO₂ 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 200 내지 300A의 용접 전류로 수행했다. 안정적인 아크를 제공하고, 점적 이동의 규칙성이 높으며, 소량의 스패터가 수득되는 샘플을 "양호"로 평가했고, 아크 안정성, 점적 이동의 규칙성, 및 스패터량 중 하나 이상이 불량한 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<98> 용접 금속의 고온균열성

<99> 용접 금속의 고온균열성은 물고기뼈(fishbone) 균열 시험 및 분화구(crater) 균열 시험 결과로 평가했다. 먼저, 물고기뼈 균열 시험의 수행 방법을 설명한다. 도 2a는 시험편이 샘플링되는 곳을 나타내는 단면도이고, 도 2b는 물고기뼈 균열 시험에서 시험편이 준비되는 방법을 나타내는 평면도이다. 도 2a를 참고하면, 20mm의 두께를 갖고 모재(11)로서 SM490A 연강을 포함하는 2점의 고장력 강판을 45°의 경사각에서 연강 SM490A를 포함하는 받침재(backing metal)(13)를 사용하여 버트 용접했다. 생성된 용접 접합부를 5mm 두께로 기계적으로 절단하여 폭 175mm, 길이 250mm 및 두께 5mm의 물고기뼈 균열 시험을 위한 시험편(14)을 수득했다.

<100> 다음으로, 도 2b에 도시한 바와 같이, 시험편(14)의 장변의 양 단부에 규칙적인 간격으로 슬릿(15)을 형성했다. 슬릿(15)은 한쪽 단면으로부터 다른쪽 단면까지 증가하는 길이를 가져, 용융 금속에 적용된 열 변형(열 응력변형)이 슬릿의 길이에 따라 연속적으로 변화하도록 한다. 구체적으로는, 열 변형은 슬릿(15)이 작은 길이를 갖는 한쪽 단면에서는 크고, 슬릿(15)이 큰 길이를 갖는 다른쪽 단면에서는 작다. 시험편(14)을 폭 750mm, 길이 500mm 및 두께 25mm의 구리 플레이트(16) 위에 배치하고, 하기 표 3의 조건 하에 시험 플레이트 운반대가 이동하는 TIG 용접을 실시했다. 이 절차에서, 플레이트 단부를 충분히 용융하고 플레이트 단부를 열적으로 변형시키기 위해 슬릿이 더 짧은 길이를 갖는 플레이트 단부에 약 5초 동안 정적 아크를 인가함으로써 플레이트 단부에서 냉각 과정 동안 수축/고화 변형으로 인한 고화 균열(고온 균열)이 유도된다. 다음으로, 균열이 발생한 플레이트 단부로부터 슬릿이 더 긴 길이를 갖는 다른 플레이트 단부까지의 용접 방향(17)으로 용접을 수행했다. 시험편(14)의 판 단부로부터 출발하는 균열이 얼마나 멀리(얼마나 길게) 연장되느냐에 기초하여 내고온균열성을 평가했다. 균열 길이는 열 변형, 즉 고온균열성에 대응한다. 구체적으로는, 용접 후에 색상 대조를 수행하고, 비드(12)에 형성된 균열의 길이를 측정하고, 균열 길이 대 시험편 길이의 비율(균열 비율)을 결정했다. 5% 이하의 균열 비율을 갖는 샘플을 "양호"로 평가했고, 5%를 초과하는 균열 비율을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

【표 3】

용접 방법	TIG 비드-온-플레이트(bead-on-plate)
섀드 가스	20L/분의 100% Ar
용접 전류	200A
용접 속도	30cm/분

<101>

<102>

SM490A 연강을 사용한 분화구 균열 시험에서, 각각 약 70mm의 길이를 갖는 3개의 용접 비드를 동일 조건 하에 V 형 홈 사면 상에 90°의 경사각으로 5mm의 깊이로 펄스 없는 MAG 용접에 의해 200 내지 300A의 용접 전류에서 섀드 가스로서 Ar 80부피% 및 CO₂ 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 간헐적으로 형성했다. 각 용접 분화구 표면에서의 균열의 전체 길이를 결정했다. 균열 길이 대 용접 분화구의 길이 또는 직경의 비율을 결정하고, 3개의 용접 분화구의 비율의 평균을 지수로서 사용했다. 15% 이하의 평균 균열 비율을 갖는 샘플을 "양호"로 평가하고, 15%를 초과하는 평균 균열 비율을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<103>

선단 직경 ρ

<104>

선단 직경 ρ 가 증가함에 따라 응력 집중이 완화되고 피로 강도가 향상되기 때문에 편의를 위해 용접 접합부의 피로 강도의 지수로서 선단 직경 ρ 를 측정했다. 구체적으로, 표 2의 조성을 갖고 두께 2.9mm인 고장력 강판의 랩 접합부를 200 내지 300A의 평균 용접 전류 및 1.3 내지 1.5m/분의 용접 속도로 섀드 가스로서 Ar 80부피% 및 CO₂ 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 자동 랩-필렛 용접에 따라 MAG 펄스 용접했다. 이후 도 1에 도시된 바와 같은 선단 직경 ρ 를 측정했다. 0.3mm 이상의 선단 직경 ρ 를 갖는 샘플을 "양호"로 평가했고, 0.3mm 미만의 선단 직경 ρ 를 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다. 상기 평가 결과를 하기 표 4에 나타낸다.

【표 4】

	번호	용접 금속의 기계적 특성	고속 용접의 비드 형성능	용접 작업성	물고기뼈 균열 시험		분화구 균열 시험		선단 직경 ρ	
					균열 비율(%)	평가	균열 비율(%)	평가	선단 직경(mm)	평가
실시예	1	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.58	양호
	2	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.51	양호
	3	양호	양호	양호	2.3	양호	0	양호	0.74	양호
	4	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.70	양호
	5	양호	양호	양호	0	양호	3.5	양호	0.43	양호
	6	양호	양호	양호	3.1	양호	4.8	양호	0.55	양호
	7	양호	양호	양호	2.7	양호	2.1	양호	0.84	양호
	8	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.36	양호
	9	양호	양호	양호	4.3	양호	7.1	양호	0.90	양호
	10	양호	양호	양호	3.5	양호	7.4	양호	0.53	양호
	11	양호	양호	양호	2.8	양호	0	양호	0.76	양호
	12	양호	양호	양호	3.8	양호	6.4	양호	0.39	양호
	13	양호	양호	양호	0	양호	5.1	양호	0.41	양호
	14	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.79	양호
	15	양호	양호	양호	3.2	양호	6.5	양호	0.53	양호
	16	양호	양호	양호	2.9	양호	0	양호	0.79	양호
	17	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.40	양호
	18	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.60	양호
	19	양호	양호	양호	0	양호	2.3	양호	0.77	양호
	20	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.38	양호
비교예	21	불량	양호	양호	0	양호	0	양호	0.37	양호
	22	불량	양호	양호	8.8	불량	8.3	양호	0.53	양호
	23	불량	불량	양호	0	양호	0	양호	0.23	불량
	24	불량	양호	불량	0	양호	5.1	양호	0.56	양호
	25	불량	양호	양호	4.5	양호	16.3	불량	0.33	양호
	26	불량	양호	양호	3.9	양호	6.1	양호	0.82	양호
	27	양호	양호	양호	7.1	불량	8.4	양호	0.50	양호
	28	양호	불량	양호	0	양호	0	양호	0.24	불량
	29	양호	양호	양호	8.9	불량	13.4	양호	0.81	양호
	30	양호	양호	양호	6.4	불량	15.5	불량	0.70	양호
	31	양호	양호	불량	0	양호	4.1	양호	0.78	양호
	32	양호	양호	양호	11.4	불량	25.8	불량	0.81	양호
	33	양호	양호	불량	3.2	양호	0	양호	0.89	양호
	34	양호	양호	양호	7.0	불량	12.3	양호	0.72	양호
	35	양호	양호	양호	13.4	불량	28.4	불량	0.83	양호
	36	양호	양호	양호	21.3	불량	43.2	불량	0.58	양호
	37	양호	양호	양호	6.1	불량	15.3	불량	0.33	양호
	38	양호	양호	양호	19.3	불량	41.2	불량	0.74	양호
	39	양호	불량	양호	0	양호	0	양호	0.21	불량
	40	양호	불량	양호	0	양호	0	양호	0.18	불량

표 4는 본 발명에 따른 실시예 1번 내지 20번의 솔리드 와이어가 모든 평가에서 우수한 결과를 나타냄을 보여준다. 한편, 본 발명의 범위를 벗어난 비교예 21번 내지 40번의 솔리드 와이어는 고속 용접에서의 비드 형성능, 용접 금속의 기계적 특성, 선단 직경 ρ , 고온균열성, 및 용접 작업성 중 하나 이상이 불량하다. 구체적으로는, 비교예 21번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위보다 적은 탄소 함량을 가지기 때문에 불충분한 용접 금속 강도를 나타낸다. 비교예 22번의 솔리드 와이어는 본 발명에서 규정된 범위를 초과하는 탄소 함량으로 인해 불충분한 용접 금속 인성을 나타낸다. 게다가, 이 솔리드 와이어는 본 발명에서 규정된 범위보다 적은 A값을 갖기 때문에 증가된 고온균열성을 갖는다.

비교예 23번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위보다 적은 규소 함량을 갖기 때문에 불충분한 용접 금속 강도를 나타낸다. 상기 솔리드 와이어는 또한 고속 용접에서 불량한 비드 형성능을 나타내고 작은 선단 직경 ρ 를 갖는다. 한편, 비교예 24번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 규소 함량을 가져 불충

분한 용접 금속 인성, 굽어진 점적 및 증가된 스패터를 나타낸다. 비교예 25번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위보다 적은 망간 함량 및 본 발명에 규정된 범위보다 적은 A값을 가져 불충분한 용융 금속 강도 및 증가된 고온균열성을 나타낸다. 한편, 비교예 26번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 망간 함량을 가져 불충분한 용접 금속 인성을 나타낸다.

<108> 비교예 27번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 인 함량을 가져 증가된 고온균열성을 나타낸다. 비교예 28번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위보다 적은 황 함량을 가져, 비록 낮은 고온균열성을 갖지만 고속 용접에서 불량한 비드 형성능 및 작은 선단 직경 ρ 를 나타낸다. 한편, 비교예 29번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 황 함량 및 본 발명에 규정된 범위보다 작은 A값을 가져 다른 원소의 함량이 본 발명에 규정된 범위 내에 있다 해도 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 30번, 32번, 34번 및 35번의 솔리드 와이어 각각은 본 발명에 규정된 범위보다 작은 A값을 가져 높은 고온균열성을 나타낸다.

<109> 비교예 31번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 티타늄 함량을 가져, 굽어진 점적, 증가된 스패터 및 증가된 슬래그를 나타낸다. 마찬가지로, 비교예 33번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 지르코늄 함량을 가져, 굽어진 점적, 증가된 스패터 및 증가된 슬래그를 나타낸다. 비교예 36번, 37번 및 38번의 솔리드 와이어는 Ti, Zr, La 및 Ce 중 어느 것도 함유하지 않고, 각각은 본 발명에 규정된 범위보다 적은 A값을 가져, 높은 고온균열성을 나타낸다. Ti, Zr, La 및 Ce 중 어느 것도 함유하지 않는 비교예 39번 및 40번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 초과하는 황 함량을 가져, 높은 고온균열성을 나타낸다.

<110> 시험예 2

<111> 본 발명의 제 2 실시양태에 관한 시험예 2를 설명할 것이다. 이 시험예에서, 강판을 하기 표 5에 나타난 조성을 갖는 와이어를 사용하여 용접했다. 고속 용접에서의 비드 형성능, 용접 금속의 기계적 특성, 선단 직경 ρ , 피복능, 고온균열성, 및 용접 작업성을 평가했다. 표 5의 솔리드 와이어의 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물이다.

【표 5】

	번호	와이어의 화학 조성(질량%)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	V	Al	B
실시에	1	0.022	0.93	1.22	0.006	0.057	0.062	-	-	-	-	-
	2	0.138	0.84	2.32	0.015	0.052	-	-	-	-	-	0.0089
	3	0.021	0.53	1.02	0.014	0.082	-	-	-	0.251	-	-
	4	0.085	1.44	2.08	0.005	0.071	-	-	-	-	0.155	-
	5	0.035	1.05	1.09	0.009	0.048	0.155	-	-	-	-	-
	6	0.035	0.88	1.55	0.003	0.062	-	-	0.032	-	-	-
	7	0.025	1.21	2.88	0.006	0.117	-	0.153	-	-	-	-
	8	0.067	0.89	1.32	0.021	0.022	-	-	-	0.005	-	-
	9	0.051	0.78	1.33	0.018	0.139	-	-	-	-	0.065	-
	10	0.071	0.95	1.25	0.005	0.064	-	0.030	-	-	-	-
	11	0.094	1.14	2.24	0.007	0.055	-	-	0.470	-	-	-
	12	0.081	1.08	2.42	0.012	0.068	-	-	-	-	-	0.0030
	13	0.112	1.31	1.91	0.019	0.036	0.005	-	-	0.151	-	-
	14	0.031	0.69	2.65	0.012	0.102	-	0.006	0.160	-	-	-
	15	0.126	1.08	1.58	0.013	0.055	0.035	-	-	-	0.010	-
	16	0.086	0.81	1.68	0.008	0.121	-	0.230	-	0.030	-	0.0098
	17	0.086	0.81	1.32	0.005	0.037	0.050	-	-	-	0.033	0.0070
	18	0.025	0.94	1.55	0.022	0.062	0.250	-	0.240	-	-	-
	19	0.030	1.25	2.00	0.016	0.084	-	0.260	0.035	-	0.260	-
	20	0.053	0.65	1.10	0.015	0.020	0.460	-	-	0.489	-	-
	21	0.022	1.49	2.02	0.015	0.034	-	-	0.060	-	-	0.0010
	22	0.024	1.02	1.43	0.014	0.045	-	0.052	-	0.055	-	-
	23	0.052	1.45	1.53	0.024	0.065	-	-	0.006	-	0.478	-
	24	0.088	1.20	2.00	0.010	0.055	0.032	0.488	-	-	-	-
	25	0.086	0.69	1.85	0.007	0.035	0.250	0.036	0.033	0.032	0.033	0.0012
비교예	26	0.031	0.73	2.53	0.010	0.052	-	-	-	-	-	-
	27	0.048	1.02	1.52	0.010	0.101	-	-	-	-	-	-
	28	0.031	1.23	1.02	0.010	0.130	-	-	-	-	-	-
	29	0.020	0.85	1.35	0.019	0.040	-	-	-	-	0.003	-
	30	0.080	1.20	1.60	0.013	0.070	-	-	-	-	0.007	-
	31	0.160	1.00	1.25	0.012	0.030	-	-	0.320	0.200	-	0.0040
	32	0.052	1.23	3.50	0.011	0.120	-	-	0.020	-	0.053	-
	33	0.083	2.00	1.53	0.010	0.085	-	0.410	-	0.085	-	-
	34	0.025	0.98	1.02	0.032	0.120	0.420	0.430	0.020	-	-	0.0012
	35	0.050	1.23	1.52	0.010	0.019	0.230	-	-	0.350	-	-
	36	0.032	1.01	1.82	0.020	0.005	-	-	-	-	0.023	0.0010
	37	0.053	1.20	1.53	0.010	0.065	0.650	-	-	-	-	-
	38	0.023	2.32	1.23	0.012	0.120	0.850	0.620	-	0.007	-	-
	39	0.102	1.00	1.56	0.010	0.070	0.050	-	-	-	0.850	-
	40	0.050	1.03	1.65	0.011	0.052	1.020	0.020	0.023	0.630	-	0.0005
	41	0.102	0.82	2.11	0.015	0.082	-	-	0.820	-	-	0.0050
	42	0.056	0.98	1.58	0.015	0.052	0.301	-	-	-	-	0.0200
	43	0.085	1.20	2.01	0.010	0.065	-	0.230	0.420	0.602	-	0.0120
	44	0.068	1.80	0.89	0.015	0.065	0.050	-	-	0.006	0.010	-
	45	0.030	1.32	1.50	0.010	0.160	-	-	-	-	-	-
	46	0.010	1.12	0.93	0.012	0.055	-	0.030	0.025	0.012	0.320	-
	47	0.190	0.42	2.62	0.010	0.110	0.030	-	-	-	-	0.0030
	48	0.065	0.45	2.02	0.030	0.032	0.120	-	0.045	-	0.325	-
	49	0.201	1.20	3.10	0.022	0.042	-	0.420	0.062	0.420	0.012	-
	50	0.014	1.32	1.11	0.032	0.098	-	0.330	-	0.250	-	0.0021

【표 6】

C	Si	Mn	P	S	잔부
0.04	0.02	1.35	0.013	0.003	철 및 불가피적 불순물

다음으로, 특성의 평가 방법을 설명할 것이다.

용접 금속의 기계적 특성

용접 금속의 기계적 특성은 일본공업규격(JIS) Z 3121에 규정된 버트 용접 접합부에 대한 장력 시험 방법, 및 JIS Z 3128에 규정된 용접 접합부에 대한 충격 시험 방법에 의해 결정했다. 이들 시험에서, 시험 온도 -20℃에

서 560N/mm^2 이상의 인장 강도 및 샤르피 충격 시험에서 100J 이상의 흡수 에너지를 갖는 샘플을 "양호"로 평가하고, 시험 온도 -20°C 에서 560N/mm^2 미만의 인장 강도 또는 샤르피 충격 시험에서 100J 미만의 흡수 에너지를 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<117> 고속 용접에서의 비드 형성능

<118> 고속 용접에서의 비드 형성능은 다음과 같이 평가했다. 표 6의 조성을 갖고 두께가 2.9mm인 고장력 강판의 샘플 랩 접합부를 쉴드 가스로서 Ar 80부피% 및 CO_2 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 1.0mm의 루트 간격, 250A의 용접 전류, 및 1.5m/분의 용접 속도로 MAG 펄스 용접했다. 언더컷, 험핑 비드, 용락 및 천공이 없고 용접 전체에서 겹에 걸쳐 가교될 수 있는 샘플을 "양호"로 평가했고, 결함을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<119> 용접 작업성

<120> 용접 작업성은 고속 카메라를 사용하여 아크 안정성 및 점적 이동의 규칙성을 관찰하고, 분산된 스패터의 양을 결정하여 평가했다. 이러한 절차에서, 펄스 없는 MAG 용접을 쉴드 기체로서 Ar 80부피% 및 CO_2 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 250A의 용접 전류 및 1.0m/분의 용접 속도로 수행했다. 안정적인 아크를 제공하고, 점적 이동의 규칙성이 높으며, 소량의 스패터가 수득되는 샘플을 "양호"로 평가했고, 아크 안정성, 점적 이동의 규칙성, 및 스패터량 중 하나 이상이 불량한 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<121> 피복능

<122> 피복능은 용접 후에 전착 코팅 단계에서 슬래그의 박리로 인해 코팅이 박리될 위험으로 평가했다. 상기 위험은 용접 후 비드 표면에 형성된 슬래그의 면적을 기준으로 결정했다. 이 절차에서, Ar 80부피% 및 CO_2 20부피%의 기체상 혼합물을 쉴드 기체로서 사용하여 250A의 용접 전류 및 1.0m/분의 용접 속도로 펄스 없는 MAG 용접을 수행했다. 슬래그 면적 대 비드 표면적의 비율이 10% 미만인 샘플을 "양호"로 평가했고, 상기 비율이 10% 이상인 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<123> 물고기뼈 균열 시험

<124> 용접 금속의 고온균열성은 물고기뼈 균열 시험 및 후술하는 분화구 균열 시험 결과에 기초하여 평가했다.

<125> 시험편이 샘플링되는 곳은 도 2a에 도시된 바와 같다. 도 2a를 참고하면, 모재(11)로서 20mm의 두께를 갖고 SM490A 연강을 포함하는 2겹의 고장력 강판을 45° 의 경사각에서 연강 SM490A를 포함하는 받침재(13)를 사용하여 버트 용접했다. 생성된 용접 접합부를 5mm 두께로 기계적으로 절단하여 폭 175mm, 길이 250mm 및 두께 5mm의 물고기뼈 균열 시험을 위한 시험편(14)을 수득했다.

<126> 다음으로, 도 2b에 도시한 바와 같이, 시험편(14)의 장변의 양 단부에 규칙적인 간격으로 슬릿(15)을 형성했다. 슬릿(15)은 한쪽 단면으로부터 다른쪽 단면까지 증가하는 길이를 가져, 용융 금속에 적용된 열 변형(열 응력변형)이 슬릿의 길이에 따라 연속적으로 변화하도록 한다. 구체적으로는, 열 변형은 슬릿(15)이 작은 길이를 갖는 한쪽 단면에서는 크고, 슬릿(15)이 큰 길이를 갖는 다른쪽 단면에서는 작다. 시험편(14)을 폭 750mm, 길이 500mm 및 두께 25mm의 구리 플레이트(16) 위에 배치하고, 하기 표 3의 조건 하에 시험 판 운반대가 이동하는 TIG 용접을 실시했다. 이 절차에서, 플레이트 단부를 충분히 용융하고 플레이트 단부를 열적으로 변형시키기 위해 슬릿이 더 짧은 길이를 갖는 플레이트 단부에 약 5초 동안 정적 아크를 인가함으로써 플레이트 단부에서 냉각 과정 동안 수축/고화 변형으로 인한 고화 균열(고온 균열)이 유도된다. 다음으로, 균열이 발생한 플레이트 단부로부터 슬릿이 더 긴 길이를 갖는 다른 플레이트 단부까지의 용접 방향(17)으로 용접을 수행했다. 시험편(14)의 플레이트 단부로부터 출발하는 균열이 얼마나 멀리(얼마나 길게) 연장되느냐에 기초하여 내고온균열성을 평가했다. 균열 길이는 열 변형, 즉 고온균열성에 대응한다. 구체적으로는, 용접 후에 색상 대조를 수행하고, 비드(12)에 형성된 균열의 길이를 측정하고, 균열 길이 대 시험편 길이의 비율(균열 비율)을 결정했다. 5% 이하의 균열 비율을 갖는 샘플을 "양호"로 평가했고, 5%를 초과하는 균열 비율을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

【표 7】

용접 방법	TIG 비드-온-플레이트
섀드 가스	20L/분의 100% Ar
용접 전류	200A
용접 속도	30cm/분

<127>

<128>

분화구 균열 시험

<129>

SM490A 연강을 사용하여, 각각 약 70mm의 길이를 갖는 3개의 용접 비드를 동일 조건 하에 V형 홈 사면 상에 90°의 경사각으로 5mm의 깊이로 펄스 없는 MAG 용접에 의해 간헐적으로 형성했다. 각 용접 분화구 표면에서의 균열의 전체 길이를 결정했다. 균열 길이 대 용접 분화구의 길이 또는 직경의 비율을 결정하고, 3개의 용접 분화구의 비율의 평균을 지수로서 사용했다. 15% 이하의 평균 균열 비율을 갖는 샘플을 "양호"로 평가하고, 15%를 초과하는 평균 균열 비율을 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다.

<130>

선단 직경 ρ

<131>

선단 직경 ρ 가 증가함에 따라 응력 집중이 완화되고 피로 강도가 향상되기 때문에 편의를 위해 용접 접합부의 피로 강도의 지수로서 선단 직경 ρ 를 측정했다. 구체적으로, 표 6의 조성을 갖고 두께 2.9mm인 고장력 강판의 랩 접합부를 250A의 평균 용접 전류 및 1.5m/분의 용접 속도로 섀드 가스로서 Ar 80부피% 및 CO₂ 20부피%의 기체상 혼합물을 사용하여 수평 랩 용접에 따라 MAG 펄스 용접했다. 이후 도 1에 도시된 바와 같은 선단 직경 ρ 를 측정했다. 0.3mm 이상의 선단 직경 ρ 를 갖는 샘플을 "양호"로 평가했고, 0.3mm 미만의 선단 직경 ρ 를 갖는 샘플을 "불량"으로 평가했다. 상기 평가 결과를 하기 표 8에 나타낸다.

【표 8】

번호	용접 금속의 기계적 특성	고속 용접의 비드 형성능	용접 작업성	피복능	물고기뼈 균열 시험		분화구 균열 시험		선단 직경		
					균열 비율(%)	평가	균열 비율(%)	평가	선단 직경(mm)	평가	
실시예	1	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.53	양호
	2	양호	양호	양호	양호	3.5	양호	4.1	양호	0.41	양호
	3	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.36	양호
	4	양호	양호	양호	양호	1.5	양호	0	양호	0.63	양호
	5	양호	양호	양호	양호	0	양호	2.2	양호	0.41	양호
	6	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.59	양호
	7	양호	양호	양호	양호	3.4	양호	8.5	양호	0.78	양호
	8	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.31	양호
	9	양호	양호	양호	양호	3.5	양호	6.1	양호	0.62	양호
	10	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.53	양호
	11	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.59	양호
	12	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.45	양호
	13	양호	양호	양호	양호	2.5	양호	5.2	양호	0.33	양호
	14	양호	양호	양호	양호	0	양호	2.3	양호	0.63	양호
	15	양호	양호	양호	양호	3.9	양호	5.5	양호	0.41	양호
	16	양호	양호	양호	양호	2.2	양호	4.5	양호	0.88	양호
	17	양호	양호	양호	양호	1.2	양호	0	양호	0.33	양호
	18	양호	양호	양호	양호	0	양호	5.6	양호	0.54	양호
	19	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.59	양호
	20	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.31	양호
	21	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.35	양호
	22	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.38	양호
	23	양호	양호	양호	양호	2.5	양호	8.9	양호	0.51	양호
	24	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.49	양호
	25	양호	양호	양호	양호	0	양호	0	양호	0.31	양호
	26	불량	양호	양호	양호	10.3	불량	14.3	양호	0.43	양호
	27	불량	양호	양호	양호	15.2	불량	20.3	불량	0.56	양호
	28	불량	양호	양호	양호	20.1	불량	35.5	불량	0.85	양호
	29	양호	양호	양호	양호	9.3	불량	14.3	양호	0.40	양호
	30	불량	양호	양호	양호	14.2	불량	15.5	불량	0.55	양호
	31	불량	양호	불량	불량	6.7	불량	16.0	불량	0.33	양호
	32	불량	불량	양호	불량	4.3	양호	14.2	양호	0.84	양호
	33	불량	불량	불량	불량	4.0	양호	10.2	양호	0.69	양호
	34	양호	양호	양호	양호	8.9	불량	20.5	불량	0.53	양호
	35	양호	불량	양호	양호	0.0	양호	0.0	양호	0.18	불량
	36	양호	불량	양호	양호	0.0	양호	0.0	양호	0.23	불량
	37	양호	불량	불량	양호	0.0	양호	0.0	양호	0.59	양호
	38	양호	불량	불량	양호	3.5	양호	10.9	양호	0.82	양호
	39	양호	불량	불량	양호	0.0	양호	0.0	양호	0.68	양호
	40	양호	불량	불량	양호	0.0	양호	0.0	양호	0.45	양호
	41	양호	불량	불량	양호	3.2	양호	17.5	불량	0.68	양호
	42	양호	양호	양호	양호	6.3	불량	15.3	불량	0.35	양호
	43	양호	불량	불량	양호	4.5	불량	18.0	불량	0.38	양호
	44	불량	양호	불량	불량	5.5	불량	20.3	불량	0.43	양호
	45	불량	양호	양호	양호	21.1	불량	35.5	불량	0.84	양호
	46	불량	양호	불량	양호	4.3	불량	5.5	양호	0.35	양호
	47	불량	불량	불량	불량	20.2	불량	43.3	불량	0.23	불량
	48	불량	불량	양호	양호	5.5	불량	10.3	양호	0.21	불량
	49	불량	불량	불량	불량	6.3	불량	15.5	불량	0.35	양호
	50	불량	양호	양호	양호	5.6	불량	16.3	불량	0.69	양호

<132>

<133>

상기 결과는 실시예 1번 내지 25번의 솔리드 와이어가 본 발명에 규정된 범위 내의 조성을 갖고 모든 평가에서 우수함을 보여준다. 한편, 비교예 26번 내지 50번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 벗어난 조성을 갖고 고속 용접에서의 비드 형성능, 용접 금속의 기계적 특성, 선단 직경 p , 고온균열성, 피복능, 및 용접 작업성 중 하나 이상이 불량하다.

<134>

구체적으로는, 표 8은 본 발명에 규정된 범위 내의 조성을 갖는 실시예 1번 내지 25번의 솔리드 와이어가 모든 평가에서 우수하다는 것을 보여준다. 한편, 비교예 26번 내지 50번의 솔리드 와이어는 본 발명에 규정된 범위를 벗어난 조성을 갖고 고속 용접에서의 비드 형성능, 용접 금속의 기계적 특성, 선단 직경 p , 고온균열성, 피복능, 및 용접 작업성 중 하나 이상이 불량하다.

<135>

비교예 26번 내지 30번의 솔리드 와이어는 Cr, Ni, Nb, V, Al 및 B 중 어느 것도 함유하지 않거나 이들 원소 중 하나를 본 발명에 규정된 범위보다 적은 양으로 함유하여, 증가된 고온균열성 및 불충분한 용접 금속 강도 및

인성을 나타낸다. 비교예 31번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 탄소 함량을 가져, 불충분한 용접 금속 인성 및 증가된 고온균열성을 나타낸다. 또한, 굵어진 점적, 증가된 스패터, 및 불량한 피복능의 원인이 되는 다량의 슬래그를 나타낸다. 비교예 32번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 망간 함량을 가져, 용접 금속의 불충분한 인성을 나타내고, 고속 용접에서 험핑 비드의 원인이 되어, 정상 비드를 형성하지 못한다. 또한, 다량의 슬래그를 발생시켜 불량한 피복능을 나타낸다. 비교예 33번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 규소 함량을 가져, 용접 금속의 불충분한 인성, 굵어진 점적, 및 증가된 스패터를 나타낸다. 또한, 다량의 슬래그를 발생시켜 불량한 피복능을 나타낸다. 비교예 34번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 인 함량을 갖고 높은 고온균열성을 나타낸다.

<136> 비교예 35번 및 36번의 솔리드 와이어는 과도하게 낮은 황 함량을 가져, 낮은 고온균열성을 나타내지만 고속 용접에서 불량한 비드 형성과 및 작은 선단 직경을 나타낸다. 비교예 37번 내지 40번의 솔리드 와이어는 Cr, Ni, V 및 Al 중 1종 이상의 함량이 과도하게 높아, 가격이 높고 고속 용접에서 험핑 비드를 초래한다. 또한, 굵어진 점적 및 다량의 스패터를 나타낸다. 비교예 41번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 니오븀 함량을 가져, 높은 고온균열성을 나타내지만 가격이 비싸고, 고속 용접에서 험핑 비드를 초래한다. 또한, 굵어진 점적을 나타내고 다량의 스패터를 초래한다. 비교예 42번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 붕소 함량을 가져 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 43번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 붕소 및 바나듐 함량을 가져, 높은 고온균열성을 나타내고, 가격이 높으며, 고속 용접에서 험핑 비드를 초래한다. 또한, 굵어진 점적을 나타내고 다량의 스패터를 초래한다.

<137> 비교예 44번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 규소 함량 및 과도하게 낮은 망간 함량을 가져, 불충분한 용접 금속 강도, 굵어진 점적 및 증가된 스패터를 나타낸다. 또한, 고속 용접에서 험핑 비드 및 다량의 슬래그를 초래하고, 불량한 피복능 및 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 45번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 황 함량을 가져 불충분한 용접 금속 강도 및 인성과 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 46번의 솔리드 와이어는 과도하게 낮은 탄소 및 망간 함량을 가져 불충분한 용접 금속 강도 및 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 47번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 탄소 함량 및 과도하게 낮은 규소 함량을 가져 불충분한 용접 금속 인성 및 증가된 고온균열성을 나타낸다. 또한, 비드의 불량한 추종성, 작은 선단 직경을 나타내고, 굵어진 점적, 증가된 스패터, 및 다량의 슬래그를 초래하며, 불량한 피복능을 나타낸다. 비교예 48번의 솔리드 와이어는 과도하게 낮은 규소 함량 및 과도하게 높은 인 함량을 가져, 불충분한 용접 금속 강도, 비드의 불량한 추종성, 작은 선단 직경, 및 높은 고온균열성을 나타낸다.

<138> 비교예 49번의 솔리드 와이어는 과도하게 높은 탄소 및 망간 함량을 가져 과도한 용접 금속 강도 및 불량한 인성을 나타낸다. 또한, 고속 용접에서 험핑 비드를 초래하여 정상 비드를 형성하지 못하며, 굵어진 점적, 증가된 스패터, 다량의 슬래그, 불량한 피복능, 및 높은 고온균열성을 나타낸다. 비교예 50번의 솔리드 와이어는 과도하게 낮은 탄소 함량 및 과도하게 높은 인 함량을 가져, 불충분한 용접 금속 강도 및 높은 고온균열성을 나타낸다.

발명의 효과

<139> 본 발명에 따르면, 비드를 안정적으로 형성할 수 있고 고속 용접에서도 두께 0.6 내지 10mm의 고장력 강판의 가스 쉴드 아크 용접에서 낮은 고온균열성을 갖고 피로 강도가 우수한 용접 접합부를 형성할 수 있는 솔리드 와이어를 제공할 수 있다.

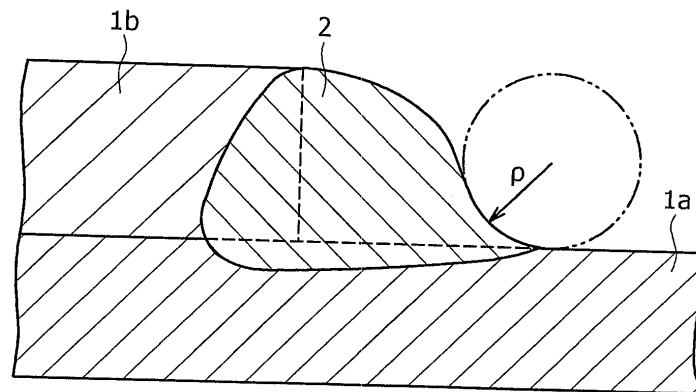
도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 랩-필렛 용접 접합부의 용접 선단을 도해한 것이다.

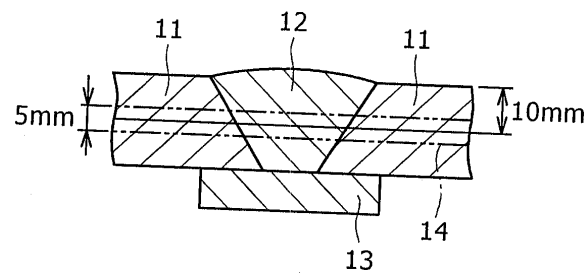
<2> 도 2a는 시험편이 샘플링되는 곳을 나타내는 단면도이고, 도 2b는 물고기뼈(fishbone) 균열 시험에서 시험편을 준비하는 방법을 나타내는 평면도이다.

도면

도면1



도면2a



도면2b

