

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0131563 (43) 공개일자 2012년12월05일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) B23K 9/173 (2006.01) B23K 9/02 (2006.01) (21) 출원번호 10-2011-0049826 (22) 출원일자 2011년05월25일 심사청구일자 없음	(71) 출원인 부경대학교 산학협력단 부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교) (72) 발명자 조상명 부산광역시 수영구 남천동 151번지 코오롱 하늘채 아파트 102-2002 손창희 경상남도 밀양시 남천강변로4길 13-8 (내이동) (74) 대리인 김태선	

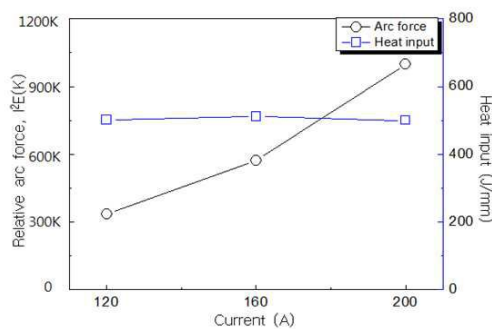
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

(57) 요약

본 발명은 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성할 수 있는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

김남규

울산광역시 북구 통샘10길 9, 107동 908호 (화봉동, 효성삼환아파트)

박효희

부산광역시 동래구 시실로135번길 30 (명장동)

특허청구의 범위

청구항 1

상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 2

제 1항에 있어서,

루트 갭이 작아지면 상대적 아크력을 증가시키고, 루트갭이 커지면 상대적 아크력을 감소하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 3

제 2항에 있어서,

루트갭이 작아지면 전류와 용접 속도를 증가시킴으로써 상대적 아크력이 증가되게 하는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 4

제 3 항에 있어서,

루트갭이 작아지면 전류와 용접 속도를 증가시키는 것에 의한 용입 부족을 방지하기 위해 용착단면적을 작게 하는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 5

제 2항에 있어서,

루트갭이 커지면 전류와 용접 속도를 감소시킴으로써 상대적 아크력이 감소되게 하는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 6

제 5 항에 있어서,

루트갭이 커지면 전류와 용접 속도를 감소시키는 것에 의한 용락을 방지하기 위해 용착단면적을 크게 하는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 맞대기 이음은 Y-그루브, I-그루브, V-그루브 및 U-그루브 중 하나 형태의 그루브를 가지는 것을 특징으로 하는 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 상대적 아크력을 제어하여 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면 비드를 형성할 수 있는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 파이프 구조물은 해양구조물, 배관, 철탑, 의장 등에 수요가 증대되고 있고, 이를 제작하기 위한 생산성과 정밀성이 함께 요구되고 있다.

[0003] 파이프 간의 결합 제작 공정은 주로 루트 패스(root pass, 초층)와 필패스(fill pass, 두번째 이상층) 용접으로 구성되며, 루트 패스는 결함 발생 가능성 등으로 인해 숙련된 작업자의 경험에 크게 의존하여, 가스 텅스텐아크 공정에 의해 용접되고, 필패스에는 주로 반자동 형태의 가스메탈아크(gas metal arc) 용접 방법을 적용하고 있다.

[0004] 용접 공정 중 맞대기 이음은 강재끼리 맞대어진 상태, 즉 일직선으로 나란히 된 상태로 접합하는 이음으로서, 용접부를 따라 용착 금속이 메워지도록 개선(beveling)을 형성하여야 하며, 강재의 V자형, U자형 개선 사이에 루트 갭(root gap)을 두고 용접한다.

[0005] 맞대기 이음으로 배관 용접시 우선 도 1 과 도 2에서 보는 바와 같이 배관을 용접하기 위하여 어느 정도의 개선 각도(12)를 가지도록 개선면(14)을 만들고, 상기 개선면(14) 사이에 용접 비드(16)를 채워 넣으면서 용접을 하게 된다. 먼저, 상기 용접 비드(16)를 채우기 위하여 루트갭(13) 사이에 초층 용접(15)을 하게 된다. 맞대기 이음에서 초층(root pass) 용접이란 도 2에서 보는 바와 같이 한번 또는 그 이상의 패스(pass)로 형성된 용착 금속의 최초층의 용접을 말한다.

[0006]

[0007] 종래 맞대기 이음으로 배관 용접시 루트면 없이 3 mm 의 루트갭을 가진 개선면을 만들고, 불활성 가스 텅스텐아크 용접(GTAW)과 플럭스 코어드 아크 용접(FCAW) 방법을 병행하였다. 그러나, 이러한 종래 방법의 경우 생산성을 높이기 위해 대전류 고속 용접을 하면 언더컷이나 험핑 비드와 같은 불안정 비드가 나타나게 되고, 이와는 반대로 용접 속도를 낮추게 되면 입열량이 증가하게 되어 용접부의 변형, 잔류 응력이 커지게 되는 문제점이 나타나게 되었다.

[0008] 이에 따라, 가스 금속 아크 용접(Gas Metal Arc Welding; GMAW)이 새로운 방안으로 사용되게 되었다. 가스 금속 아크 용접(Gas Metal Arc Welding; GMAW)은 용가재로서 작용하는 소모전극 와이어를 일정한 속도로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생되도록 하는 용접법이다. 도 3에 GMAW 용접의 원리를 나타내었다. 도 3에서 보는 바와 같이 연속적으로 송급되는 와이어가 아크의 높은 열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융지로 이행하게 되며, 용융 부위는 가스 노즐을 통하여 공급되는 보호 가스에 의해 주위의 대기로부터 보호받게 된다. GMAW 는 비교적 세경(0.9 - 1.6 mm)의 전극 와이어를 사용하므로 전류 밀도가 높아져 용착 속도가 높기 때문에 다른 용접법에 비하여 능률적이다. 또한, 용접 로봇이나 자동화기기 등을 사용하여 용접 자동화가 비교적 용이하다는 장점이 있다.

[0009] GMAW 에서 용접부의 기계적 특성 및 건전성을 크게 좌우하는 부분이 초층 용접(루트 패스 용접)이다. 파이프 용접 부재의 경우 파이프의 개선 가공 과정에서 오차가 발생할 수 있고, 용접을 위한 가접에서 용접선의 기울어짐이 발생할 수 있다. 또한 파이프를 회전하는 회전 장치의 편심에 의한 용접선의 오차가 유발될 수 있다. 또

한, 루트 갭(root gap)은 용접 전류, 아크 전압등과 같은 여러 가지 용접 파라미터 들에 영향을 미친다.

[0010] 파이프 용접에서 용입의 형태는 압력이나 기밀이 요구되는 파이프 용접의 경우 매우 중요하기 때문에 이와 같이 형성되는 용입 형태를 실시간으로 제어해 적절한 용입 형태를 유지해야 할 필요가 있다. 이로 인해 현재 적용되고 있는 파이프 용접용 자동화 장치의 운용은 용접 작업자가 용접 도중에 토치를 지속적으로 용접선으로 위치시키고 갭의 크기에 따라 용접 조건을 변화시켜 가는 작업으로 진행되어야 하며, 이에 대해 많은 연구가 있었다. 그 결과 종래에는 갭이 확대되면 속도와 전류를 줄이고, 갭이 축소되면 속도와 전류를 증가시키는 방법을 주로 사용하였다. 그러나, 갭의 변동에 따라 속도와 전류를 어떠한 관계를 가지고 조절하는지에 대한 좀더 정확하고 구체적인 기술이 필요하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 상대적 아크력을 제어함으로써 맞대기 이음 시 발생하는 루트 갭(root gap)의 변동을 극복하면서도 안정적인 이면 비드를 형성할 수 있는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 목적을 위하여,
- [0013] 상대적 아크력의 제어를 통한 루트 갭 변동을 극복하고 안정적으로 이면비드를 형성하는 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법을 제공한다. 본 발명에 있어서, 루트 갭이 작아지면 상대적 아크력을 증가시키고, 루트 갭이 커지면 상대적 아크력을 감소하도록 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 본 발명에 있어서, 루트갭이 작아지면 전류와 용접 속도를 증가시킴으로써 상대적 아크력이 증가되게 하는 것을 특징으로 한다. 또한, 루트갭이 작아지면 전류와 용접 속도를 증가시키는 것에 의한 용입 부족을 방지하기 위해 용착단면적을 작게 하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 본 발명에 있어서, 루트갭이 커지면, 전류와 용접 속도를 감소시킴으로써 상대적 아크력이 감소되게 하는 것을 특징으로 한다. 또한, 루트갭이 커지면 전류와 용접 속도를 감소시키는 것에 의한 용락을 방지하기 위해 용착 단면적을 크게 하는 것을 특징으로 한다.
- [0016]
- [0017] 이하에서는 본 발명을 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0018] 아크 용접은, 넓은 면적에 작은 에너지가 투입되기 때문에, 상대적으로 용입 깊이가 얇고, 용접 속도가 느린 바, 동일한 두께의 강재를 용접하는 경우에 많은 용접공수가 필요로 될 뿐만 아니라, 많은 입열량이 투입되기 때문에 용접금속과 열영향부가 넓게 형성되는 동시에, 열변형이 심하게 발생하게 되고, 이를 바로 잡기 위한 다수의 후속 공수가 필요로 되는 문제가 있다. 따라서, 아크 용접에 있어서는 용접 과정의 입열량이 적을수록 용접과정에서의 변형을 최소화 할 수 있게 된다.
- [0019] 입열량은 용접시에 외부로부터 용접부에 가해지는 열량을 말하며, 용접 입열(welding heat input)이라고도 한다. 아크 용접에서는 아크가 용접 비드의 단위 길이당 발생시키는 전기적 열에너지 $Q(J/mm)$ 로 나타낸다. 아크 전압을 E , 아크 전류를 I , 용접 속도를 $v(mm/s)$ 이라고 하면, 입열량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- [0020] 입열량 $Q(J/mm) = E(V) \cdot I(A) / v(mm/s)$
- [0021] 상기 입열량을 나타내는 관계식으로부터 전류 I 와 용접 속도를 반비례하여 변형시킬 경우 입열량이 일정하게 유지됨을 알 수 있다.
- [0022] 이에 비해 본 발명에 의한 상대적 아크력은 도 4에서 나타나는 것처럼 전류의 제곱에 비례하고 전압에 비례하는 힘을 말하며, 맞대기 용접시 갭이 존재할 때 용융 쇳물을 아래쪽으로 밀어주는 힘이다.
- [0023] 이러한 상대적 아크력과 입열량은 전류와 전압에 의해 변한다는 공통점이 있지만, 상대적 아크력은 용접 속도에 따라 변하는데 비해 입열량은 용접 속도에 의해서 변하지 않는다는 큰 차이점이 있다. 따라서 용접 속도를 조절함으로써 입열량은 변화가 없으면서 상대적 아크력만을 증가시켜 이면 비드 형성의 제어가 가능하게 된다.
- [0024] 즉, 본 발명에 있어서, 기준 루트갭인 1.5 mm 보다 루트갭이 작아지면 작아진 루트갭 사이로 용융 쇳물을 아래쪽으로 더 크게 밀어주는 힘이 필요하기 때문에 상대적 아크력이 증가되도록 하기 위해 전류와 용접 속도를 증가시킨다. 그러나, 전류와 용접 속도가 증가되면 그에 따라 용입 부족 현상이 발생할 수 있으므로, 전류와 용접 속도를 증가시키면서 동시에 용착단면적을 작게 조절하여 용입 부족 현상 없이 안정적으로 이면 비드를 형성할 수 있게 한다.
- [0025] 한편 기준 루트갭인 1.5 mm 보다 루트갭이 커지면, 루트갭 사이로 용융 쇳물을 아래쪽으로 밀어주기 위해 필요한 상대적 아크력의 크기가 감소하므로 전류와 용접 속도를 감소시킨다. 그러나, 전류와 용접 속도가 감소함에 의하여 용락 발생 가능성이 증가하므로, 이러한 용락 발생 가능성을 감소시키기 위해 용착단면적을 증가시킨다. 이에 의하여 용착량은 증가시키면서도 용락은 방지되고, 전류와 전압을 감소시켜 상대적 아크력을 감소시킴으로써 결과적으로 안정적으로 이면비드를 형성할 수 있게 한다.
- [0026] 본 발명의 맞대기 이음 GMAW 초층 용접에 있어서, 상기 맞대기 이음은 Y-그루우브, I-그루우브, V-그루우브 및 U-그루우브 중의 한 형상을 가지는 것을 특징으로 한다. 좋은 용접비드를 형성하기 위해, 그루우브의 형상은 적당해야만 한다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명에 의한 맞대기 이음 GMAW 초층 용접 방법은 상대적 아크력을 제어함으로써 맞대기 이음 시 발생하는 루트 갭(root gap)의 변동을 극복하면서도 안정적인 이면 비드를 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1과 도 2는 맞대기 이음으로 용접 시 단면도를 나타낸다.
- 도 3은 GMAW 용접의 원리를 나타낸다.
- 도 4는 상대적 아크력을 나타낸다.
- 도 5는 본 발명의 실시예 1-1 내지 1-3에서 용착량을 동일하게 하고 전류에 따른 상대적 아크력과 입열량과의 관계를 나타낸다.
- 도 6은 실시예 1-1 내지 1-3에서의 용접 결과 및 용접부의 형상을 나타낸다.
- 도 7은 루트갭이 1.5 mm 일 때 전압을 변화시켜 상대적 아크력을 변화시키면서 평판 맞대기 용접을 실시한 결과를 나타낸다.
- 도 8은 루트갭이 0.5 mm 일 때 전압을 변화시켜 상대적 아크력을 변화시키면서 평판 맞대기 용접을 실시한 결과

를 나타낸다.

도 9는 루트갭이 2.5 mm 일 때 전압을 변화시켜 상대적 아크력을 변화시키면서 평판 맞대기 용접을 실시한 결과를 나타낸다.

도 10은 본 발명의 실시예에서 루트갭이 변화함에 따른 상대적 아크력과 비드 형상과의 관계를 나타낸다.

도 11은 본 발명의 실시예 2내지 4에서 루트갭의 크기와 각각의 루트갭 크기에서의 안정적인 비드 형성을 위한 필요 상대적 아크력과의 관계와 관계식을 나타낸다.

도 12는 본 실시예에서 적용한 U 그루브의 형상을 나타낸다.

도 13은 본 발명에 의한 조건에 따라 초층 용접을 실시한 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

실시예 1. 루트갭이 1.5 mm 일 때 구리판에서의 상대적 아크력 변경 실험

전류와 용접 속도를 비례하여 증가시킬 경우 상대적 아크력이 이면 비드 형성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 200 mm × 50 mm × 5 mm 구리판을 사용하여 기준 루트갭인 1.5 mm 조건에서 평판 맞대기 용접을 실시하였다. 전류와 전압을 아래 표 1의 조건으로 변경하면서 상대적 아크력을 변화시키고 그에 따른 이면 비드의 형상을 관찰하였다.

표 1

Fixed	CTWD(mm)	15		
	Shield gas & flow rate	MAG (Ar 80%+ CO ₂ 20%) 25L/min		
	Deposited metal (mm ²)	10.5		
	Root gap(mm)	1.5		
Varied	Current(A)	120	160	200
	Voltage(V)	14	17	18
	Welding speed (cpm)	28	38	55

전류가 증가함에 따라 용착 금속(Deposited metal)의 단면적을 10.5 mm²로 일정하게 유지하기 위해 용접 속도를 비례하여 증가시켰으며, 또한 각각의 경우에 있어서 입열량은 아래 식에서와 같이 계산하였다.

$$\text{입열량 } Q(\text{J/mm}) = E(\text{V})I(\text{A})/v(\text{mm/s})$$

상기 실시예 1-1 내지 1-3 에서의 전류에 따른 상대적 아크력과 입열량 과의 관계를 도 5에 나타내고, 실시예 1-1 내지 1-3 에서의 용접부의 형상을 도 6에 나타내었다. 도 5, 도 6에서 전류와 용접 속도를 비례하여 증가시킬 경우 입열량(heat input)의 차이는 거의 없지만, 도 6 에서 용접 속도의 증가에 따라 상대적 아크력이 증가하여 용입의 깊이가 깊어지는 것을 확인 할 수 있다.

실시예 2. 기준 루트갭 1.5mm 연강판에서 상대적 아크력 측정 실험

루트갭이 1.5 mm 일 때 상대적 아크력 변화에 의한 이면 비드 형성을 알아보기 위하여 상기 실시예 1에서와 같이 150 mm × 50 mm × 3 mm 연강판을 사용하여 세팅 전류가 120 A 일 때, 전압을 변화시켜 상대적 아크력을 변

화시키면서 평판 맞대기 용접을 실시하였다.

[0037] 각각의 조건 및 용접부의 형상을 도 7에 나타내었다. 도 7에서 보는 바와 같이 상대적 아크력이 303K, 출력 전류 126A, 출력 전압 19.4V 일 경우 비드의 형상이 가장 안정적으로 나타났다.

[0038] **실시예 3. 루트갭 0.5 mm 에서 상대적 아크력 변경 실험**

[0039] 루트갭이 0.5 mm 라는 것을 제외하고는 상기 실시예 2와 동일하게 측정하고, 그 결과를 도 8에 나타내었다. 도 8에서 보는 바와 같이 용접 조건은 기준 루트갭인 1.5 mm 에서보다 상대적 아크력이 증가한 510k 출력 전류 152A, 출력 전압 22.0V 일 경우 비드의 형상이 가장 안정적으로 나타났다.

[0040] 루트갭이 1.5 mm 인 상기 실시예 2보다 입열량은 감소하였지만, 상대적 아크력은 증가하였고, 루트갭이 감소함에 따라 상대적 아크력을 증대시킴으로써 안정적인 이면 비드를 얻을 수 있었다.

[0041] **실시예 4. 루트갭 2.5 mm 에서 상대적 아크력 변경 실험**

[0042] 루트갭이 2.5 mm 라는 것을 제외하고는 상기 실시예 2와 동일하게 측정하고, 그 결과를 도 9에 나타내었다. 도 9에서 보는 바와 같이 용접 조건은 기준 루트갭인 1.5mm 에서보다 상대적 아크력이 감소한 197k, 출력 전류 109A, 출력 전압이 16.6V, 일 경우 비드의 형상이 가장 안정적임을 확인할 수 있었다. 루트갭이 1.5 mm 인 상기 실시예 2보다 루트갭의 크기가 증가함에 따라 상대적 아크력이 감소하도록 용접하였으며, 이로 인해 용락발생 없이 안정적인 이면비드를 얻을 수 있었다.

[0043] 상기 실시예 2 내지 4에서 루트갭이 변화함에 따른 상대적 아크력과 비드 형상과의 관계를 도 10에 나타내었다. 각각의 루트갭에 대해서 비드의 높이와 폭이 상대적 아크력과 일정 관계가 있는 것을 알 수 있다.

[0044] 상기 실시예 2 내지 4에서 루트갭의 크기와 각각의 루트갭 크기에서의 안정적인 비드 형성을 위한 아크 침투력과 관계식을 도 11에 나타내었다. 도 11에서 보는 바와 같이 루트 갭의 크기와 아크 침투력과 서로 반비례 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

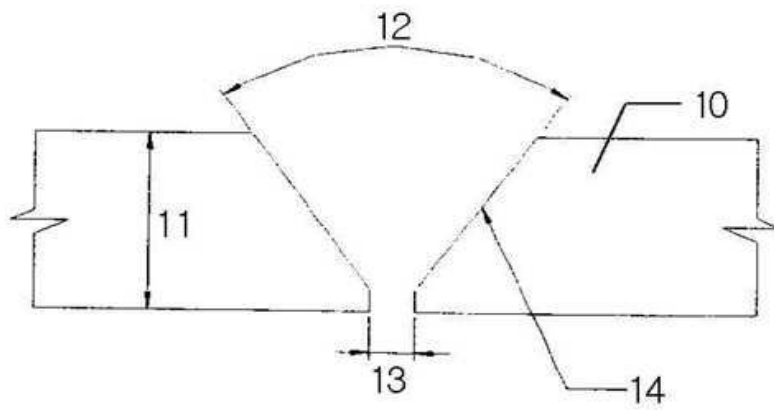
[0045] **실시예 5. U 그루브 맞대기 이음 용접 실험**

[0046] 루트갭이 0.5mm, 1.5 mm, 2.5mm 인 경우 도 12에서 보는 바와 같이 상기 실시예 2 내지 4에서 이면 비드 형상이 가장 안정적인 조건으로 U 그루브 맞대기 이음 용접을 실시하였다.

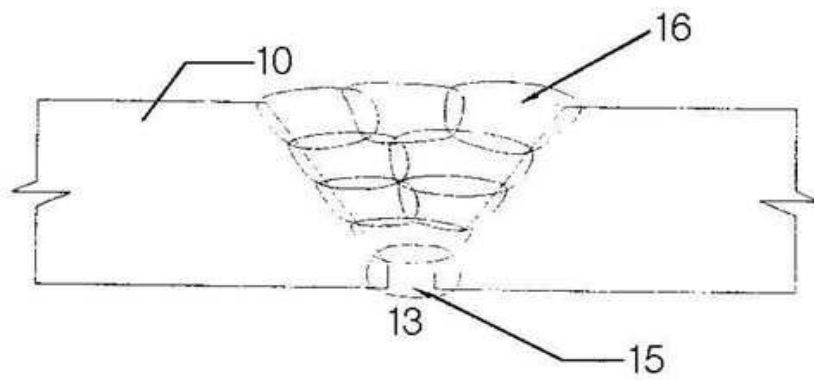
[0047] 본 실시예에서 적용한 U 그루브의 형상을 도 12에 나타내었으며, 용접 실시결과는 도 13에 나타내었다. 본 실시예에 적용한 U 그루브 형상은 루트갭이 1.5 mm 이고, 루트면이 3mm 인 경우로서, 도 13에서 보는 바와 같이 본 발명의 조건으로 루트갭이 기준 루트갭 1.5 mm 보다 커질 때는 기준 루트갭 1.5 mm 에서의 상대적 아크력보다 상대적 아크력을 감소시키고, 루트갭이 기준 루트갭 1.5 mm 보다 작아 질 때는 기준 루트갭 1.5 mm 에서의 상대적 아크력보다 상대적 아크력을 감소시키는 조건으로 용접을 실시하였을 때, 초층 용접에서 안정적인 이면 비드가 생성되는 것을 확인할 수 있었다.

도면

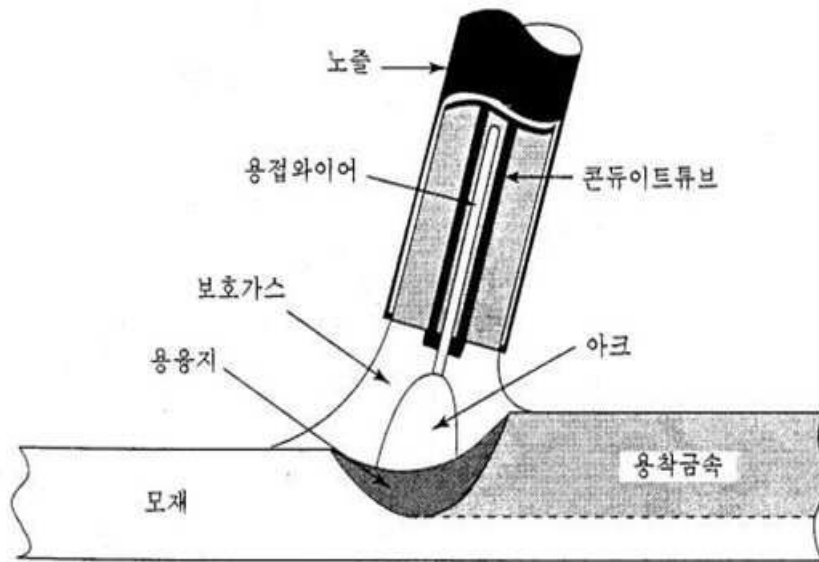
도면1



도면2



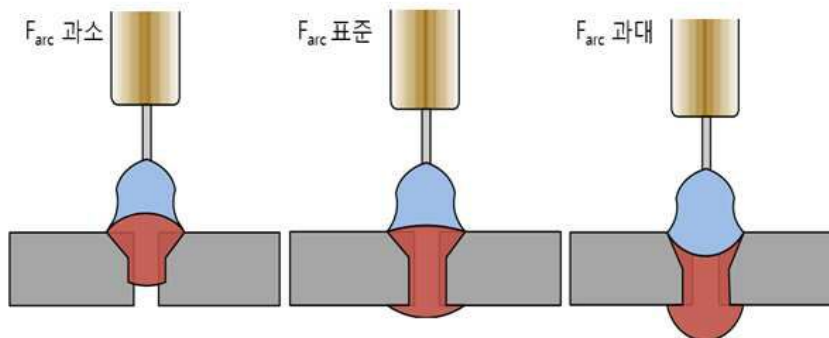
도면3



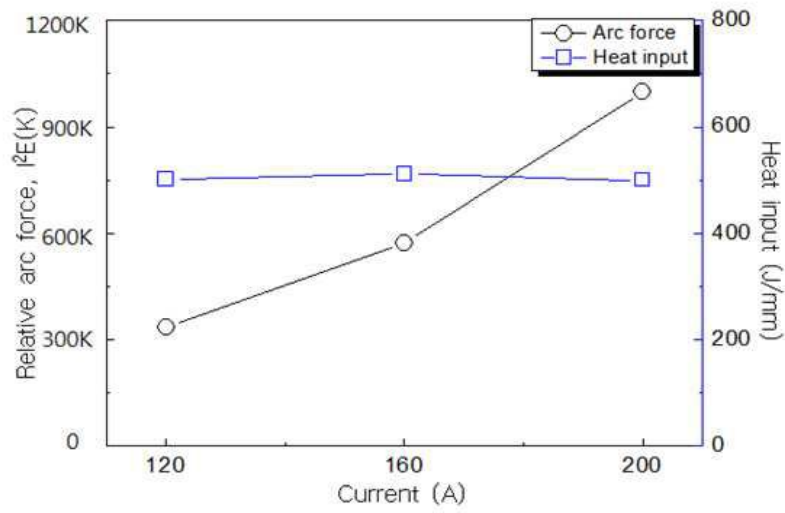
도면4

$$F_{arc} = kEI^2$$

F_{arc} = 아크력
 E = 전압 (V)
 I = 전류 (A)
 k = 비례상수



도면5



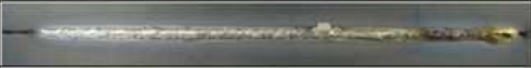
도면6

Relative arc force	Output current (A)	Output voltage (V)	Welding speed (cpm)	Heat input (J/mm)	Longitudinal section	Penetration (mm)
334k	142	16.6	28	505.11		2.21
570k	176	18.4	38	511.88		3.81
1002k	219	20.9	55	499.55		4.91

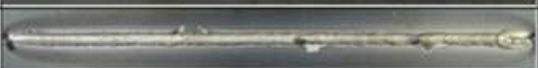
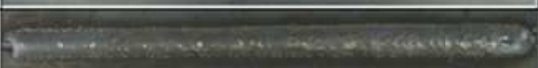
도면7

Gap (mm)	Relative arc force (heat input)		Appearance of bead	Cross section
1.5	278k (505J/mm)	Front		
		Back		
	291k (530J/mm)	Front		
		Back		
	303k (554J/mm)	Front		
		Back		
	315k (576J/mm)	Front		
		Back		
	325k (595J/mm)	Front		
		Back		

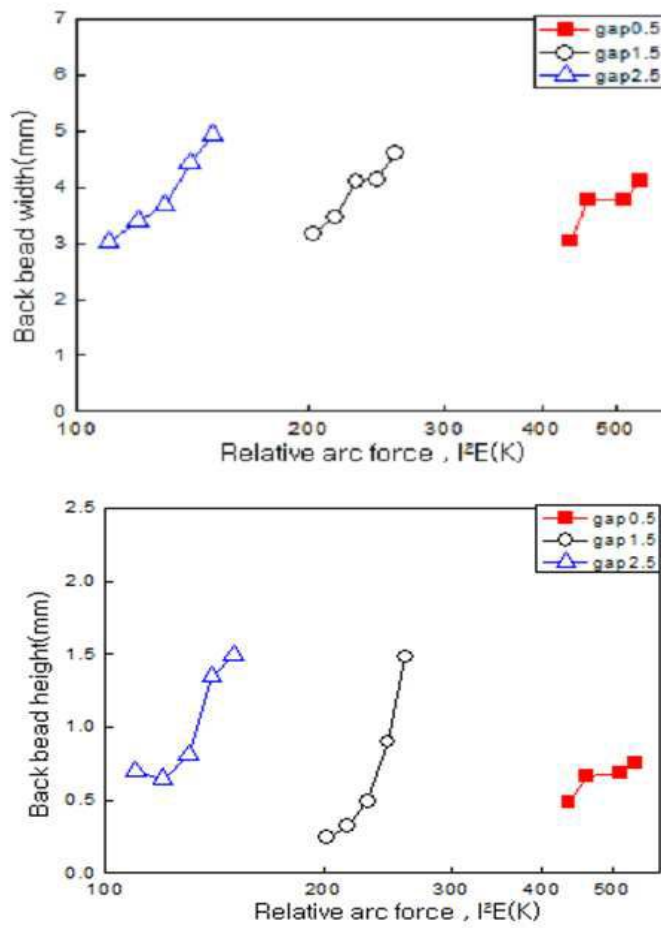
도면8

Gap (mm)	Relative arc force (heat input)		Appearance of bead	Cross section
0.5	471k (443J/mm)	Front		
		Back		
	488k (457J/mm)	Front		
		Back		
	499k (475J/mm)	Front		
		Back		
	510k (490J/mm)	Front		
		Back		
	511k (498J/mm)	Front		
		Back		

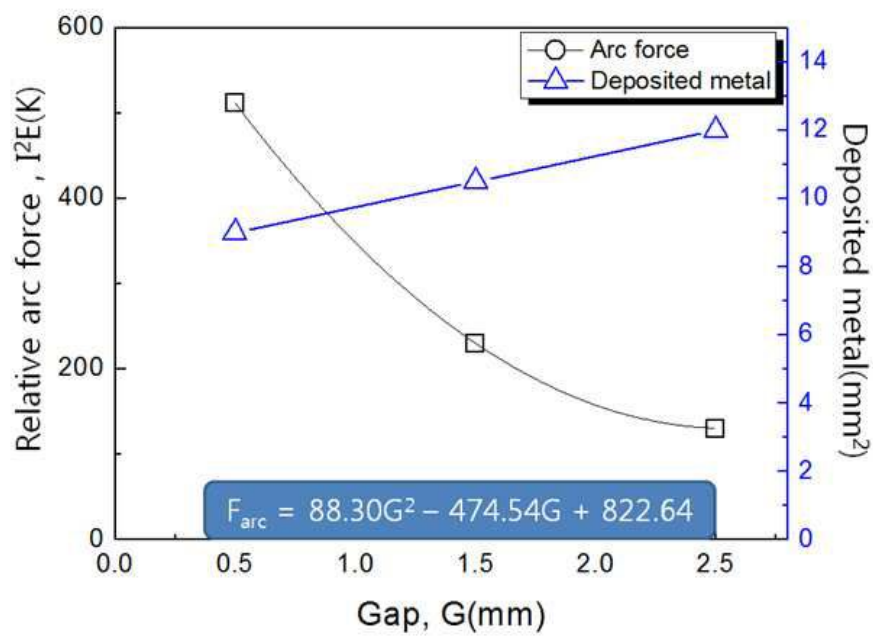
도면9

Gap (mm)	Relative arc force (heat input)		Appearance of bead	Cross section
2.5	185k (474J/mm)	Front		
		Back		
	190k (495J/mm)	Front		
		Back		
	198k (517J/mm)	Front		
		Back		
	204k (535J/mm)	Front		
		Back		
	212k (564J/mm)	Front		
		Back		

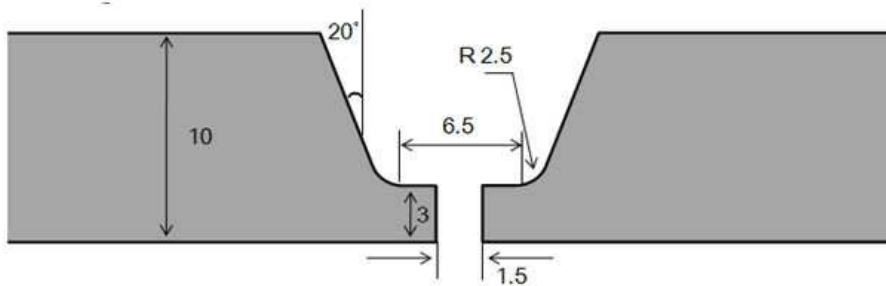
도면10



도면11



도면12



도면13

Gap (mm)	Relative arc force (heat input)		Appearance of bead	Cross section
0.5	607k (530.2J/mm)	Front		
		Back		
1.5	310k (550.7J/mm)	Front		
		Back		
2.5	188k (500.6J/mm)	Front		
		Back		