

테일러드 블랭크 제조를 위한 용접기술

김기철*, 강문진*, 이목영*

1. 서언

자동차의 차체 경량화와 구조적 강성의 향상을 목표로 진행되고 있는 초경량차체(ULSAB) 개발 프로젝트에서 테일러드 블랭크 용접기술은 가장 중요한 요소 기술의 하나로 취급되고 있다. 테일러드 블랭크는 박판 강재를 이용하는 기술이며, 이러한 종류의 소재에 대한 용접기술은 저항 용접, 아크 용접, 고주파 용접, 전자 빔 용접 및 레이저 용접법 등이 거론의 대상이 된다. 그러나, 어떠한 경우에도 테일러드 블랭크의 용접은 기본적으로 박판 강재의 고품위 용접이므로 여기에서는 이 목적에 맞는 몇가지 용접법, 즉 심 용접법과 레이저 용접법에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

2. 테일러드 블랭크 용접

2.1 매쉬 심용접

2.1.1 매쉬 심용접의 개요

매쉬 심용접(mash seam welding)은 통상의 심용접법과 같이 원형 전극을 이용하여 용접을 행하는 저항 용접의 일종이므로 일부 조건을 제외하고는 심용접의 원리로 설명이 가능하다. 그림 1은 심용접의 원리를 나타내는 것으로, 두개의 회전하는 전극을 사용하여 용접부를 상하에서 가압하면서 용접 전류에 의한 저항열을 용접의 열원으로 이용한다. 심용접은 방법적인 측면에서 연속 점 용접으로 취급할 수 있으나, 기밀 및 수밀을 목적으로 하는 캔의 용접 등에도 사용되고 있다. 심용접 장치는 전력의 공급 방법에 따라 교류형 용접장치와 용접 변압기의 2차측에 대용량의 정류기를 장착한 직류형 용접장치로 구분할 수가 있다.

심용접은 전극을 통해 전류를 흘리고, 모재의 저항발열에 의해 온도상승을 일으키는 공정이므로, 용접부 형성 메카니즘을 고려하여 불 때 용접부의 가압력 분포와 전류밀도가 중요하다. 사용되는 전극은 용접에 필요한 대전류와 함께 압력을 용접부에 인가하여야 하며 용접 후에는 전극의 냉각과 용융부의 응고를 촉진하기 위한 냉각 기능이 필요하다. 따라서, 용접 전극은 높은 전기 전도도와 고온 강도를 유지해야 하는 동시에 좋은 열전도성을 가져야 한다.

* 포항산업과학연구원 설비/용접/전자기 연구팀

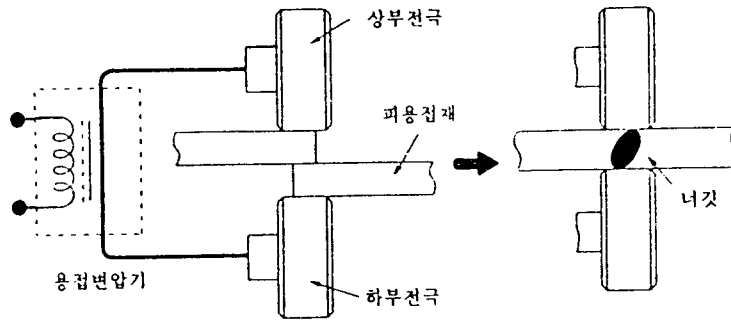


그림 1 매쉬 심용접의 원리

2.1.2 심용접성에 영향을 미치는 요소

심용접성에 영향을 주는 요소는 용접전류, 가압력, 용접시간과 속도, 접침 량, 재료의 특성 등 직접적인 영향 요소와 피용접재의 표면상태, 재료의 두께 및 형상, 전극의 재질, 형상과 크기 등이 있다.

(1) 용접전류

심용접에서는 저항 점 용접의 경우보다 높은 용접전류를 사용하는데 그 이유는 먼저 만들어진 용접부를 통한 전류의 분류효과가 있기 때문이다. 심 용접에서 사용되는 전류의 형태는 일반적으로 넓은 의미의 펄스전류 형태와 연속 교류 형태이다. 펄스 전류는 심용접에 가장 많이 사용되는 전류 형태로서 다음과 같은 장점이 있다.

- 발열량의 제어가 용이하다.
- 가압상태에서 용접부가 응고되기 때문에 용접부의 건전성이 높아진다.
- 용접 후의 열변형을 최소화 할 수 있다.
- 전류 밀도의 과도한 상승으로 인한 스파터 제어가 쉽다.
- 용접부의 표면 품질이 우수하다.

용접 전류는 용접부 형성에서 가장 중요도가 높은 공정 변수로서, 필요 이상의 용접전류를 사용할 경우 심한 압흔의 형성과 표면 용융 및 용접부 균열을 일으킬 수 있으므로 용접 전류의 적절한 제어가 핵심이라고 할 수 있다. 너무 짧은 가열 시간이나 빠른 용접 속도를 사용할 경우 적절한 크기의 용접부를 얻기 위하여 높은 전류가 필요하므로 비경제적이거나 전극의 손상을 초래 한다. 용접부는 각각의 펄스 전류가 인가되었을 때 형성이 되고 주어진 용접속도 및 냉각 조건에서 가열 과정은 너깃의 크기 및 용입 정도를 결정하지만, 용접 속도와 냉각 과정은 너깃의 중첩 정도를 결정한다. 용접 속도가 증가하면 가열 시간과 냉각 시간의 비율을 증가시켜야 적당한 크기의 너깃 중첩량을 유지할 수 있다.

(2) 가압력

용접에서 입열 에너지는 전류를 조절함으로써 쉽게 제어할 수 있으나, 접촉 저항에 직접적인 영향을 미치는 가압력을 가감하여도 조절이 가능하다. 낮은 가압력 하에서는 작은 전류 변화에 의해 용접 성능이 크게 변화하므로 가압력을 충분히 하여 넓은 전류범위에서도 만족스런 용접부를 형성할 수 있게 해야한다. 가압력이 증가할수록 접촉저항은 감소하지만, 어떤 적정량까지는 가압력이 증가할 때 너깃의 용입 및 크기가 약간 증가하다가 그 이상의 가압력에서는 용입량의 감소와 너깃 넓이의 급속한 증가를 일으킨다. 너무 높은 가압력은 재료 표면에 압흔을 형성하고 접촉 저항을 낮추므로 높은 용접 전류를 사용해야 하는데, 이 경우에는 결과적으로 전극의 손상을 촉진하게 된다. 한편, 가압력이 너무 낮을 경우에는 접촉 저항이 높아져 전극과 모재사이 혹은 모재와 모재 사이에서 스파터와 아크 발생을 유발한다.

(3) 용접 속도

용접 속도는 원하는 용접부의 성능, 재료의 두께 및 표면 상태 등에 의해 좌우되며, 높은 전류일 경우라도 과도한 용접 속도는 금속간 용접 강도 저하를 유발시킨다. 용접 속도가 증가할 때 충분한 입열량을 확보하기 위해서는 전류도 함께 증가시켜야 한다. 전류가 너무 높으면 전극과 모재 사이에서 아크가 발생하기 쉽고 전극 표면이 불량해 질 확률이 높으므로 용접 속도는 어느 정도 한계를 가져야 한다. 용접 속도의 영향은 낮은 전류일 경우 더욱 민감하게 나타나며, 높은 전류일 경우에는 어느 정도 넓은 범위의 용접 속도가 허용된다.

(4) 겹침 량

심용접에서의 겹침 량은 용접 전류, 가압력 등의 용접 조건과 같이 용접부 특성에 미치는 영향이 크므로 신중히 다루어야 한다. 겹침 량은 충분해야 하지만 너무 많을 경우 접촉 면적이 넓어지므로 적절한 크기의 용융부를 형성하기 위하여 높은 전류 및 가압력이 필요하다. 또, 그 경우 용접되지 않은 부위의 넓이가 커져 불순물의 침투가 쉽고 결과적으로 용접부의 성능을 저하시킨다. 이 겹침량은 용접 형태에 따라 차이는 있으나 매쉬 심용접의 경우에는 재료 두께의 1~1.5배가 적당한 것으로 알려져 있다.

(5) 재료의 표면상태

건전한 용접부를 형성하기 위해서는 전극과 재료 사이의 저항을 가능한 작게 해야한다. 만약, 이 계면에서 접촉면 저항이 커지면 전극과 재료 사이의 저항 발열이 급격히 증가하여 표면 아크의 발생과 함께 전극의 손상으로 수명을 단축시킨다. 용접부에 이물질이 존재할 경우 용접부 특성이 급격히 저하되므로 용접 전 이물질은 가능한 한 깨끗이 제거시켜야 한다. 소재의 표면에 존재하는 작은양의 얇은 기름 불순물은 용접부 특성에는 큰 영향을 미치지 않지만 강도는 정상적인 경우에 비하여 약 2~3 % 낮다. 많은 양의 기름은 반드시 제거해야 한다. 기름 그 자체는 용접부에 큰 영향을 미치지 않지만 그곳에 함유된 다른 성분들이 용접 특성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

표면의 산화 피막은 기름과 같이 얇고 균일할 경우에는 심용접성에 큰 문제점을 일으키지 않지만 일반적으로 용접부 강도를 낮춘다. 두껍고 불균일한 산화 스케일은 국부적인 저항 발열량의 불규칙을 초래하여 용접부 특성을 해치거나, 용접 후

접합면에서 제거되지 않고 잔존하여 기공 결함을 유발 시킨다.

2.2 레이저 용접

2.2.1 개요

매쉬 심용접과 함께 레이저 용접은 테일러드 블랭크 용접에서 필수 불가결한 접합 방법이다. 레이저 용접은 매우 작은 점으로 집속된 레이저 광에서 변환되는 높은 밀도의 에너지를 사용하여 키홀 용융 현상을 수반하는 용접 방법이다. 레이저 용접에서 피용접재에 흡수된 레이저 에너지는 재료 표면을 급속하게 가열하여 고온의 금속 증기와 함께 이온의 생성을 야기한다. 이와같은 금속 증기의 이온체는 플라즈마 상태라고 불리우며, 용접의 초기에는 입사되는 레이저 에너지의 흡수를 돕지만 점차 용접의 에너지 효율에 부정적인 역할을 하게된다.

레이저 광이 집속되어 높은 에너지 밀도를 가지면, 용접부에서는 조그만 원통 모양의 키홀이 형성되고 그 키홀 내부에는 고온의 금속 증기가 존재하게 된다. 키홀의 깊이가 증가하면 레이저 광은 그 안에서 여러번 연속적으로 반사되는데 이러한 현상을 다중반사라고 부른다. 다중반사가 이루어지면 용접에 활용되는 레이저 에너지 전달효과는 증가 한다. 레이저 빔이 조사되는 동안 증기압은 키홀 벽면의 용융 부위가 중력 등에 의하여 붕괴되는 것을 막기 때문에 키홀이 계속하여 유지된다. 만일, 펄스 형태의 레이저를 쓰면 용융 금속이 키홀 쪽으로 밀려와 한 개의 펄스가 끝나는 시점마다 응고된다. 레이저가 연속적으로 조사되며, 또 용접이 진행됨에 따라 키홀이 이동하면 키홀 주위의 용융 금속은 표면 장력에 의해 지지되는 작은 파동을 만든다. 이 용융 금속의 파동은 움직이는 키홀의 경계를 따라 후방으로 이동하여 뒤쪽에 있던 용융 금속과 합쳐지면서 응고되어 물결 모양의 규칙적인 무니(용접 비드)를 만들어낸다.

2.2.2 레이저 용접법의 특징

레이저 용접은 좁고 깊은 용접부를 얻을 수 있으며, 대출력 레이저 용접 장치를 이용하면 두꺼운 부재도 1 패스로 용접을 이룰 수가 있다. 즉, 고출력 탄산가스 레이저 용접기를 사용하면 철강재의 경우 25mm의 용입량을 한 번의 용접으로 얻을 수 있다. 이러한 특성은 후물재 용접에서 필요한 용접 그루브의 가공과 용접봉 사용을 배제할 수 있기 때문에 공정상은 물론 용접부 특성을 보증하기가 용이하다.

레이저 용접은 기본적으로 소입열 용접법이다. 소입열 용접은 결과적으로 소재의 열변형을 최소화할 수 있어서, 용접 후처리 공정을 생략하거나 축소할 수 있다. 또, 용접 열에 의하여 영향을 받기 쉬운 복합 부품에 접근하여 용접을 행할 수도 있다. 용접 금속학적으로는 열영향부의 취화 경감을 포함하여 용접부 근처에서 발생하는 조직의 조대화를 대폭 줄일 수 있다. 레이저 용접법을 적용하면 고속 용접과 용접 생산 공정의 융통성을 부여할 수 있다. 용접 속도를 아크 용접의 10배 정도 까지 높일 수 있고 몇 개의 작업대를 하나의 레이저 발진기로 번갈아 가면서 용접을 실시하는 것이 가능하여 용접 생산성을 크게 높일 수 있다. 또, 자동화가 용이하고 현장의 조건에 따라서 전자세 용접이 가능하다.

이웃하는 두 부재를 접합시키는 경우에 아크 용접에서는 부분 용입에 의하여 용접부 피로강도와 인장강도의 저하를 피하기 어려우나, 레이저 용접에서는 그러한 제한점을 크게 완화시켜 준다는 등의 장점이 있다. 레이저 용접이 가지는 이러한 장점에 대하여 제한점 또한 간과할 수 없는 부분이 많다. 1mm이하의 빔 직경을 가진 레이저 용접의 경우 정밀한 접합부의 정렬을 요구한다. 접합부 정렬이 적절하지 않으면 집중 에너지의 많은 부분이 접합면 사이의 틈을 통해 손실될 수도 있다.

레이저 용접에서는 용융 폭이 매우 좁기 때문에, 접합선과 레이저 빔을 잘 일치시키는데 세심한 주위가 필요하다. 정밀한 용접 장치는 용접 생산성을 높이는 데 중요한 요소이다. 이것은 집중 빔과 접합선의 정렬도를 좋게 할 뿐만 아니라, 초점 위치 등을 용이하면서도 재현성 있게 제어할 수 있다는 의미를 내포하고 있으나 정밀도가 올라갈수록 투자비 또한 상승한다는 점을 인식 하여야 한다. 특히, 비교적 넓고 얇은 강재의 장거리 용접은 높은 정밀도를 가진 정렬 장치가 요구된다.

2.2.3 레이저 용접의 공정 변수

레이저 용접의 공정 변수들은 기본적으로 이 용접법이 빛을 사용 한다는 점을 감안하여 볼 때 예측할 수 있는 바와같이 광학 전송계의 특성인 집중 장치의 초점 거리, 초점 크기 및 초점 깊이를 비롯하여 레이저 빔 자체의 성질, 용접 점에서의 초점 위치가 매우 중요한 역할을 한다.

(1) 초점위치

초점위치는 용접의 진행 방향에 대한 재료 표면에서의 초점위치와 용접할 재료의 내부 방향에 대한 초점위치로 나누어 생각할 수 있다. 일반적으로 전자는 초점의 어긋남이라는 용어로 대표되는데, 이것은 용접선의 정렬과 관련이 있어서 용접 실시 전에 집중 빔이 접합하고자 하는 위치에 정확히 오도록 주의를 기울이는 것으로 조건의 설정이 끝나는 요소이다. 후자인 초점위치는 피용접재의 두께 방향으로 어떤 특정한 위치에 에너지의 집중점을 두게하는 가상의 점으로서 용융에 필요한 에너지 효율 및 용접부 형성에도 매우 예민한 관계가 있는 중요한 변수의 하나이다.

구경 대비 초점거리의 비가 큰 렌즈를 사용할 경우에는 빔의 수렴각과 발산각이 다같이 커지기 때문에 더욱 세심한 주의를 기울여야 비이드의 폭에 비하여 용입 깊이가 깊은 용접부를 얻을 수 있다. 이러한 원인은 무엇보다도 용접 점에서 집중 빔의 에너지 밀도가 큰 폭으로 변화하여 키폭 용접을 잘 이룰 수 있느냐, 혹은 그렇지 않느냐에 직접 영향이 있기 때문이다. 그렇다면, 초점위치는 과연 어디에 두어야 할 것인가? 그것은 말할나위 없이 가장 깊은 용접부를 얻을 수 있는 위치이다.

(2) 레이저 출력

레이저 출력은 용입 깊이의 한계를 규정하는데 중요한 요소로서, 근본적으로 소정의 출력을 낼 수 없는 장치를 가지고는 다른 조건이 모두 최적의 상태라고 하더라도 일정 깊이 이상의 용접부를 얻을 수 없다. 그림 2는 초점위치와 레이저 출력이 용입 특성에 미치는 영향을 나타낸 실험 결과의 예이다.

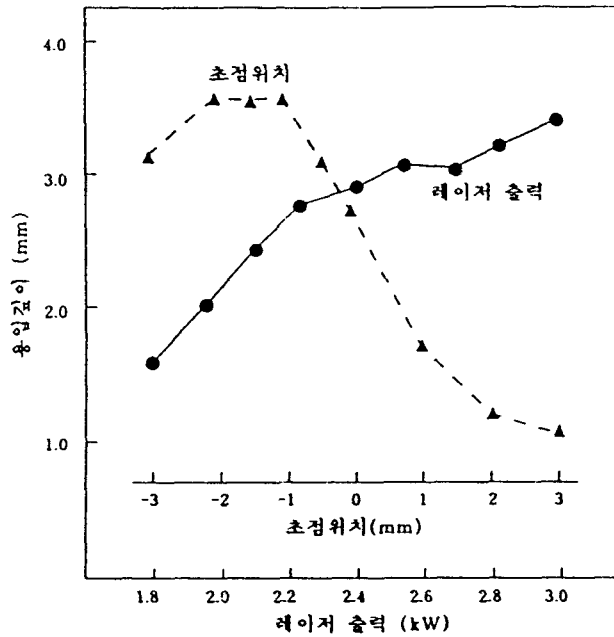


그림 2 용입특성에 미치는 레이저 출력과 초점위치의 영향

(3) 용접속도

레이저 출력과 함께 용접 속도는 용접 되는 위치가 받는 용접 입열량과 밀접한 관계를 가지고 있다. Bead-on-plate 용접 등에서는 용접 속도가 증가하면 용입깊이가 감소하지만, 박판의 맞대기 용접에서는 그러한 개념 보다는 완전용입을 이루는 가장 빠른 용접 속도가 더 중요하다. 이러한 완전용입 조건에서 용접 속도가 올라가면 용접부의 폭과 열영향부의 폭이 함께 좁아지며 용융부의 상하 대칭 정도가 낮아져 용접 후 그 단면을 조사하여 보면 용접부가 V-자 모양을 형성하기 쉽다.

(4) 보호가스

보호가스는 아크 용접에서와 같이 용접시 고온의 용융금속을 산화로부터 보호하는 차단막의 역할을 하여 용접부에 산화물형의 비금속 개재물과 기공의 형성을 막아준다. 한편, 레이저 용접에서는 이러한 목적의 보호가스 이외에 용접에서 필연적으로 형성되는 플라즈마를 제거하여 레이저 에너지의 이용 효율을 높임으로서 동일한 출력의 레이저 장치를 사용하더라도 더 깊은 용접부를 얻고자 별도의 보조가스를 사용하기도 한다. 보호가스로 사용되는 기체로는 아르곤, 헬륨, 질소 등이 있는데 아르곤이 가장 널리 쓰이고 있다. 그림 3은 보호가스 취입량이 용입 특성에 미치는 영향에 대한 실험 결과의 한 예를 보인 것이다.

2.2.4 레이저에 의한 테일러드 블랭크 용접

테일러드 블랭크 용접은 자동차용 박판 강재 용접에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있으며, 레이저 용접은 이러한 목적의 용접에 가장 중요한 부분이다. 레이저

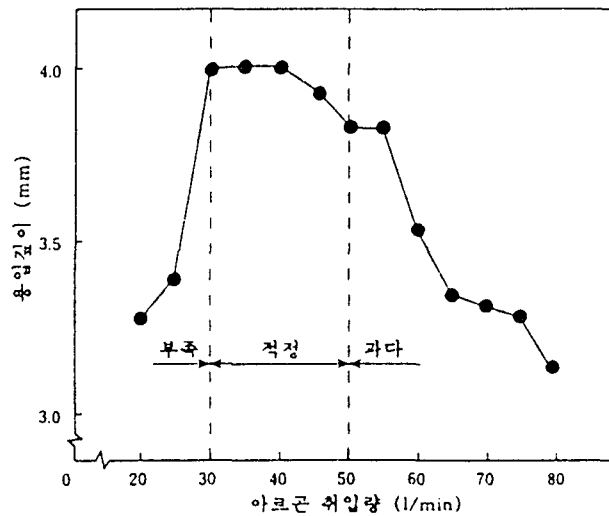


그림 3 보호가스 취입량이 용접부 형성에 미치는 영향

용접에서 대상으로 하고 있는 박판 소재는 거의 모두가 두께 3mm 이하의 재료로서 레이저 용접시 적어도 2m/min 이상의 용접 속도를 요구하고 있다. 테일러드 블랭크 용접에 필요한 각종 용접 조건의 적정값들은 다른 용접에서도 그렇듯이 어디까지나 참고 자료에 불과한 것으로 각자의 현장에서는 그 곳의 실정에 적합한 용접 조건(즉, 설비 고유의 특성, 피 용접 재료 및 가스와 같은 소모성 재료의 특성, 각종 용접 조건 등)을 스스로 만들어 사용하여야 한다.

박판의 레이저 용접에서 맞대기 간극은 매우 중요하다. 맞대기 간극이 두께의 25%를 넘게되면, 접합부의 단면적이 소재 두께보다 작게되므로 당연히 기계적인 강도를 떨어뜨리게 되며 레이저 용접의 특징인 키홀 형성을 저해하기 때문에 용접 그 자체에 문제를 야기하는 경우도 있다. 그러나, 아연 도금 강재를 용접할 때에는 아연 증기의 방출을 돕고 그 결과 기공의 형성을 막기 위하여 약간의 맞대기 간극(예컨대 0.1mm)을 부여하는 것이 유리하다.

3. 결론

테일러드 블랭크 제조에 있어서 용접은 본문에서도 여러번 언급 되었듯이 자동차 공업에서는 가장 중요한 기술의 하나로 일컬어지고 있다. 테일러드 블랭크 용접의 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나, 현실적으로는 매쉬 심 용접법과 레이저 용접법이 양대 산맥을 이루고 있으며 그 중에서도 레이저 용접법이 우세한 것 같다. 그것은 레이저 용접이 높은 밀도로 집속된 빛 에너지를 사용하기 때문에 여타의 전기 에너지를 쓰는 기술에 비하여 유용성이 더 높음에 기인하는 결과이다. 또, 레이저 용접법은 가공 기기의 자동화와 다목적화를 구현할 수 있어서 생산 공정의

요구에 쉽게 적응할 수 있는 것도 큰 장점이다.

그러나, 최고의 용접 품질은 최고의 용접 장치를 보유하고 있다는 것만으로 해결되는 것이 결코 아님을 인식하여야 한다. 용접부의 요구 품질이 고급화하면 풀어야할 기술적 어려움도 많아지며, 용접기가 고급화하면 할수록 그 장치를 사용하는 software 역시 높은 수준으로 올려져 있어야 하기 때문이다. 따라서, 꾸준한 노력으로 당면하고 있는 현장의 여건에 맞는 기술의 개발이 필요하다고 하겠다.