

소형 압력용기 제조에서 CW Nd:YAG레이저 용접기술의 적용

Application of CW Nd:YAG laser welding in small pressure vessel

김기철*, 권영각*, 이목영*, 허재협**

* 포항산업과학연구원

** 한국냉각캔주식회사

1. 서론

철강재료를 모재로 하는 소형 용기는 그 크기와 모양이 다양한 만큼 사용 범위와 사용상의 요구조건도 매우 다양하다. 소형 용기 중에서 높은 압력을 견딜 수 있는 용기는 산업적으로 적당한 제조방법이 정립되어 있지 않으므로 생산실적이 거의 없으며 응용범위 또한 극히 제한적이다. 소형 압력용기의 이용 분야 중에서 자가 냉각캔은 용기가 가지는 잠재력 때문에 많은 흥미를 불러 일으키고 있다. 그러나 실용적으로 이와 같은 용기를 제조할 수 있는 방법이 아직 개발되어 있지 않았고 극히 일부에서 실험적으로만 이용된 것으로 알려지고 있다.

좁은 의미에서 자가 냉각캔은 용기에 저장되어 있던 식음료를 사용하려는 장소와 시간에 맞추어 실시간으로 원하는 온도까지 냉각시킴으로서 휴대와 보관의 간편성을 확보할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 또 이 기술이 실현되면 냉장에 필요한 여러 가지 장비를 배제할 수 있을 뿐만 아니라 에너지를 절약할 수 있기 때문에 투자비와 운영비를 동시에 낮출 수 있다.

본 연구는 이와 같은 용도와 특성이 있는 자가 냉각캔을 산업적으로 제조하는 과정에서 박판 강재를 정밀 성형한 다음 고출력 Nd:YAG 레이저 용접법을 적용하려는 시도로서 이루어진 것이다.

2. 실험방법

시험재는 Table 1과 같이 저탄소 냉간압연 강재였으며 모재의 두께는 각각 0.32mm와 0.50mm였다.

Table 1 Chemical composition of base metals(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Thickness (mm)
Steel A	0.060	0.002	0.289	0.013	0.009	0.013	0.011	0.051	0.012	0.32
Steel B	0.052	0.019	0.263	0.012	0.009	0.013	0.014	0.043	0.029	0.50

판재 형태의 시험재는 실험에 필요한 크기인 50mm×100mm로 절단한 다음 용접을 실시하여 용접조건 범위를 설정하는데 이용하였는데 절단된 시험재는 절단 그대로의 상태로 용접이 실시되었다. 준비된 시험재는 목적에 따라 용접이 실시되었으며 실험에 사용된 레이저 용접 장치는 각각 TOSHIBA사의 CO₂ 레이저와 LUMONICS사의 MW 3000형 고출력 Nd:YAG 용접장치였다.

본 실험에서 고출력 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저를 모두 사용하여 용접 후의 용입 형상을 비교한 이유는 향후의 활용도를 알아보기 위함이었다. 용접부의 이음 형상은 용입 특성을 파악하기 위하여 BOP 용접을 실시하였고 자가냉각용기의 용접을 재현하기 위하여는 겹치기 용접 이음을 이용하였다.

용접 조건은 레이저 출력 0.5~3kW 범위에서 용접 속도를 가변 하였는데 그 범위는 8.5mm/s 에서부터 150mm/s까지 광범위하게 실시하였다. 레이저 출력과 용접 속도 이외에는 초점 위치와 이음부 간극 및 보호가스의 종류와 유량 등을 실험의 변수로 사용하였다. Table 2는 본 연구에서 사용한 용접 조건을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 2 Welding conditions

Welding parameter	Test range
Applied laser output(kW)	0.5~3.0
Travel speed(mm/s)	8.5~150
Position of focus(mm)	(-)4.0~(+)3.0
Joint gap(% thickness)	0~30

Fig. 1은 본 실험의 수행 절차를 나타낸다. 1차 실험에서는 주로 시험편 수준의 실험을 실시하였으나 본 실험에서는 정밀성형된 중간제품을 시험재로 하여 레이저 용접조건을 설정하였다. 이와 같은 방법으로 실시된 용접 실험 결과는 몇 차례의 반복적인 중간 분석 과정을 거치면서 소형 압력용기의 레이저 용접 공정을 개발하였다. Fig. 2는 용접 시험재의 기계적 성질을 알아보기 위한 시험편의 형상과 크기를 나타낸다. 기계적 시험에서는 전단인장 하중과 찢김인장 하중을 측정하였는데 그러한 이유는 통상의 정하중 강도와 함께 압력용기가 가져야할 내압 성능을 평가하기 위한 것이었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 Steel A 시험재에 대하여 용접 비드의 형성에 미치는 용접 속도와 레이저 출력의 상관성을 나타낸 것이다. 이 실험 결과에 의하면 완전용입 조건에서 레이저 출력 1kW로 용접이 실시된 경우에는 표면 비드의 폭이 모재 두께와 동등하며 안정적인 형태를 이루고 있었으나 레이저 출력을 높인 용접 조건에서는 과대한 비드 폭을 형성하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 보조가스 취입 압력을 196kPa로 고정하고 레이저 출력을 1kW 인가하였을 때 표면 비드의 폭과 이면 비드의 폭비, 즉 용접 비드의 형상계수에 미치는 초점위치의 효과를 나타낸 것이다. 이 실험에서 용접속도는 저속 조건인 17mm/s에서 고속 조건인 50mm/s 까지 실시하였으며 저속 영역에서는 초점 설정위치가 비드 형상계수에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 고속 영역에서는 집속점의 위치가 표면에서 +/- 2.0mm인 조건에서 적절한 용접부 형상이 얻어졌다. 에너지 집속점이 적정 위치에서 멀어질수록 비드 형상 계수는 커지고 있는데 이러한 결과는 비드가 사다리꼴 또는 삼각형을 이룬다는 의미를 내포하는 것이다.

한편 Fig. 6은 용접부의 조직을 나타낸 사진으로 겹치기 이음부의 간극이 최종 용접부의 형상에 미치는 영향을 나타내는 실험 결과이다. 이 실험에서 알 수 있듯이 극박판 강재의 겹치기 용접에서는 용접부의 단면적 또는 단면 형상이 겹치기 간극에 의하여 거의 영향을 받지 않는다. 그러나 간극이 적정값 이상으로 많이 벌어졌을 경우에는 비드의 함몰이 발생하여 용접부의 기계적 성질 특히 찢김인장 특성을 저해하는 것으로 나타났다.

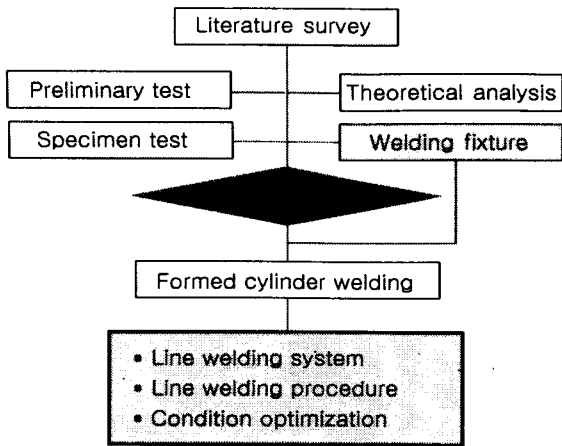
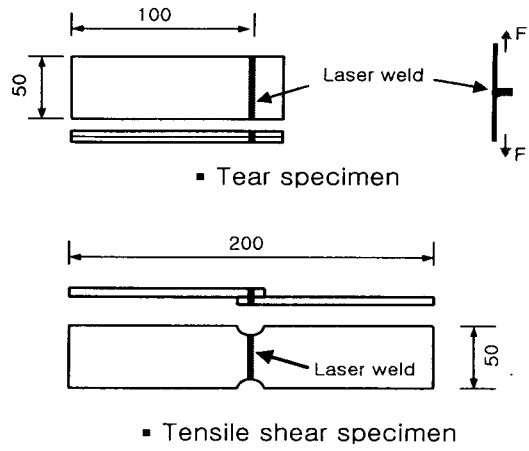


Figure 2



1

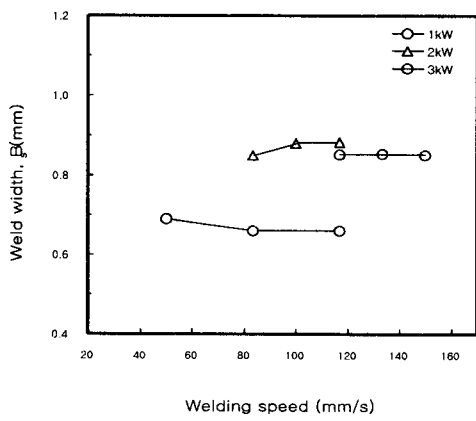


Figure 3

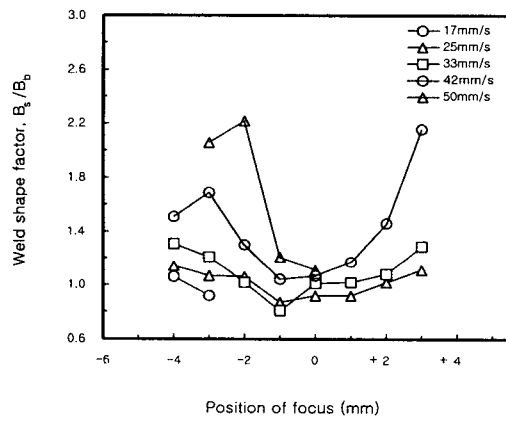


Figure 4

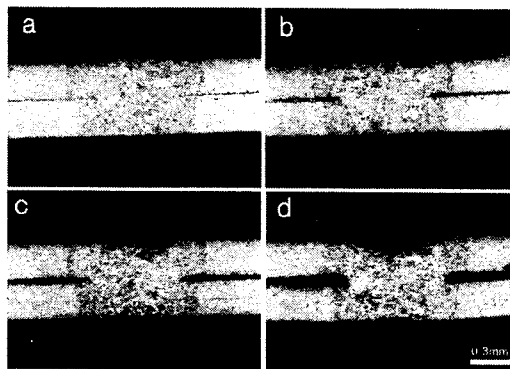


Figure 5