저탄소강 SS41 연속파형 Nd:YAG 레이저 겹치기 용접의 기공제어 기술

이가람^a, 황찬연^a, 양윤석^a, 박은경^a, 유영태^{b*}

The Porosity Control Technology of Lap Joint Welding Using Continuous Wave Nd:YAG Laser of the Low Carbon Steel SS41

Ka Ram Lee^a, Chan Youn Hwang^a, Yun Seok Yang^a, Eun Kyeong Park^a, Young Tae Yoo^{b*}^a Department of Advanced parts and Materials Engineering, Chosun Univ, Republic of Korea^b Department of Mechatronics Engineering, Chosun Univ, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	15	April	2013
Revised	3	July	2013
Accepted	9	July	2013

Keywords:

SS41

Ni coated SS41

Lap-joint welding

T-joint welding

Secondary battery

ABSTRACT

With the development of advanced processing technology, laser processing systems, which require high-quality precision processing, have attracted considerable attention. Although laser equipment is expensive, it enables quick processing and less deformation of materials. This technology is often applied to secondary batteries, which has thus far involved the use of argon tungsten inert gas (TIG) welding. However, the welding characteristics of argon TIG welding are not yet good, and a laser is used for welding to address this problem. In this study, lap-joint welding was conducted, and the desired welding characteristics were obtained when the laser power was 1800W and the laser beam travel speed was 1.8 m/min. Lap-joint welding was conducted on Ni-coated SS41. Two cases were compared. No pores were observed in the Ni-coated SS41 lap-joint welding part, and cracks appeared from the lap-joints. Moreover, the pole rod and tap were welded together in a T-joint form to improve the output of the secondary battery. T-joint laser welding showed better welding characteristics than TIG welding.

1. 서론

현대 산업사회의 과학기술은 신소재 개발과 함께 부품이 복잡해지고, 소형화되면서 기존의 전통적인 기계가공 방법으로는 가공이 힘들어졌다. 이에 따라 1950년대부터 개발된 레이저의 활용에 관심을 가지게 되었고, 레이저의 출력이 증가하면서 그 활용 분야가 많아지게 되었다. 레이저를 활용하는 분야의 가능성이 증가하면서 레이저 가공장비가 개발되고 있지만, 용접의 경우 장비자체의 가격이 비싸고 가공 공정변수가 복잡하기 때문에 최적의 용접조건을

선정하는데 어려움이 있다^[1,2]. 그럼에도 불구하고 레이저가 많이 사용되는 큰 이유는 작업시간이 빠르고 가공물의 변형이 적을 뿐만 아니라 다양한 소재의 용접이 가능하기 때문이다. 레이저 용접은 레이저빔을 초점렌즈로 집광하여 고에너지밀도를 이용하는 용접 방법으로 빠른 시간 내 가공하기 때문에 작업부품에 영향을 거의 주지 않는다^[3-5]. 즉, 부품 자체에 변형이 적고, 좁고 깊은 용접단면을 얻을 수 있다. 이를 바탕으로 최적의 용접공정 DB를 구축하여 가공생산성을 향상시킬 수 있다^[6].

이와 같은 이유로 레이저를 이용한 용접에 산업체에서 많은 관심

* Corresponding author. Tel.: +82-62-230-7016

Fax: +82-62-227-6329

E-mail address: ytyou@chosun.ac.kr (Young Tae Yoo).

이 집중되고 있다. Lee, J. H^[7]는 저탄소강과 스테인레스 강을 레이저 비드 온 플레이트 용접하면서 TIG용접과의 용접성을 비교 분석하였다. Eroglu, M^[8]은 저탄소강을 비드 온 플레이트 용접을 통해 용접부와 열영향부에 대해 연구하였고, Miles, M. P^[9]는 마찰교반용접과 레이저 용접을 통해 저탄소강 소재인 DP강 용접성을 비교하였다. 용접특성 중 경도값을 비교한 결과, 레이저 용접 시 경도값이크게 나타난 것으로 보고하였다. 이와 같이 레이저 용접에 대한 연구가 다양하게 진행되면서 레이저용접에 대한 활용사례가 지속적으로 증가하고 있다. 레이저 장비가 많이 사용되는 분야는 자동차 산업으로 차체의 이음부나 이중재질의 겹치기 용접 등 많은 부분에서 다양한 방법으로 사용되고 있다.

최근 자동차의 연비향상과 배기가스 규제에 대한 대응으로 전기 및 하이브리드 차량의 개발이 증대되고 있다. 이러한 전기 및 하이브리드 차량을 개발하기 위해서 필수적으로 요구되는 분야로는 고성능 이차전지의 개발이다. 이차전지에서 가장 핵심적인 부분으로는 에너지밀도, 경량화, 장수명을 높이는 것이다.

이차전지에는 Ni-MH이차전지보다 에너지 밀도가 우수하고, 출력밀도도 높은 Li-ion이차전지가 있는데, 이는 Ni-MH이차전지보다 안정적이지 못하여 하이브리드 자동차에는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다. Ni-MH이차전지는 사용용도에 따라 전지의 특성이 다르기 때문에 하이브리드 차량용으로는 전극의 용량과 체적 에너지 밀도가 중요한 설계요소이다. 또한 우수한 출력밀도를 갖도록 전극의 내부저항 감소를 위해 고용량, 고출력의 음극과 양극의 개발이 전지설계의 핵심요인이다. 이에 따라 이차전지의 효율을 높이고자 다양한 형태의 이차전지 개발에 대한 관심이 집중되고 있다. 이와 관련하여 전극의 재질을 바꾸거나 전해질의 종류를 변화시키면서 많은 연구를 하고 있다^[10].

니켈은 치밀한 금속상태에서 상온의 공기 또는 물에 침식되기 어려워, 보호막으로서 전기도금에 이용된다. 분말상태에서는 공기에 대한 반응성이 커서 자연발화 하는 경우도 있다. 묽은 질산에는 쉽게 녹지만, 진한 질산에는 철과 같이 부동태를 만들기 때문에 녹지 않는다. 이와 같은 이유로 이차전지에 사용하는 극판이 전해질에 용해되지 않도록 극판과 극주를 Ni로 도금하여 사용하면 이차전지의수명이 길어질 것이다.

본 연구에서는 고용량 이차전지 내 극주(Pole rod)와 극판(Pole Plate)의 안정적인 용접기술을 확보하기 위해 레이저 용접공정 조건에 따른 극주 소재의 레이저 용접특성에 관해 연구하고자 한다. 그런데 문제는 극주 소재로 많이 사용하는 저탄소강을 레이저로 용접할 때 용접단면에 기공이 발생한다는 점이다^[11]. 기공이 발생하면 재질의 불연속성으로 용접단면의 강도가 감소하고 전기전도 물질의 전도성에 장애요인으로 작용하게 된다. 이와 같은 이유로 본 연구에서 레이저 용접할 때 용접단면에 발생하는 기공을 제거하

는 기술을 연구하고, 이 결과를 토대로 극주에 박판 극주 40장을 T형상으로 용접하여 산업현장에서 사용하고 있는 아르곤 TIG 용접을 대체 할 수 있는 용접기술 개발하려고 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 연속파 Nd:YAG레이저(TRUMPF-HASS LASER HL 2006D)의 파장대는 1,064 nm이고, 최대출력은 2.8 kW, 평균 출력은 2 kW급 레이저이다. 레이저빔은 600 μ m의 광섬유(Optical fiber)를 통해 전달되고, 초점렌즈에 의해 만들어지는 초점직경은 약 600 μ m이다. 레이저 용접 시 사용된 광학렌즈는 초점거리는 200 mm이고, 렌즈의 직경은 60 mm로 F# (F-number: F/D)는 3.33이다. 공작대(LASMA 1054)는 광케이블과 연결되어 있고, 방진시스템이 적용되었다.

레이저 가공 헤드는 켄트리 타입 로타리 축 가공장치로 되어 있으며, x, y, z축의 이송거리는 각각 1,000, 500, 400 mm이다. 레이저 용접 시 용접부와 대기 중의 오염물질 사이의 상호작용을 방지하기 위해 Ar가스를 45°각도에서 공급하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 실험 장치를 보여주고 있다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 이차전지를 레이저로 용접하였다. 이차전지 극주 소재는 저탄소강 SS41로 일반 구조용 압연강재를 일반적으로 사용하고 있다. 이차전지에서 사용하는 소재의 레이저 용접특성을 파악하기 위해 산업현장의 시제품을 구성하는 극주 크기와 동일하게

Fig. 1 Experimental laser system setup

Table 1 Chemical compositions of low carbon steel SS41

SS41 (wt, %)			
C	0.1511	Si	0.222
Mn	0.749	P	0.0158
S	0.0086		

Table 2 Mechanical properties of low carbon steel SS41

SS41		
Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation
245	400~510	17%

Fig. 2 Cross-section area of argon TIG welding

시편을 제작하였다. 저탄소강 SS41의 조성분과 물성치는 Table 1과 Table 2와 같다.

이차전지 내 극주와 탭의 기존 용접방법은 아르곤 TIG용접을 하고 있으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 사람이 직접 손으로 용접을 하기 때문에 용접공정을 정밀하게 제어하지 못하여 과입열, 크랙 등과 같은 결함이 발생하고 있는 것을 관찰 할 수 있다. Fig. 2에 나타난 것처럼 아르곤 TIG 용접법은 용접 비드가 크고 거칠게 용접되어 있을 뿐만 아니라, 용접 단면은 내부에 커다란 균열이 발생한 것을 알 수 있다. 이러한 균열은 내구성을 낮출 뿐만 아니라, 전기 저항손실을 발생하게 한다. 또 극주와 극판을 T형상으로 용접할 때 극주 아래에 접합되는 박판을 용접하기 위해 극주에 슬릿(Slit)을 가공한 다음 박판을 삽입한 상태에서 용접하기 때문에 생산성에 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 또 아르곤 TIG용접법을 이용하여 제작된 배터리와 레이저 용접법을 이용하여 제작된 배터리의 출력 특성을 비교하기 위하여 마이크로 저항측정기로 측정한 결과, 소재에 미세 기공이 있지만 레이저 용접법이 아르곤 TIG용접법보다 전기저항값이 더 낮게 측정되어 레이저용접의 우수성이 입증되었다^[10]. 본 연구에서는 수작업으로 작업자의 능력에 따라 용접성이 다르게 나타나는 현상을 보완하고 용접단면에 발생하는 균열과 기공과 같은 결함을 제거하기 위해 레이저 용접을 연구하였다^[12].

레이저 용접은 보호가스의 종류와 유량, 레이저의 출력, 이송속도 및 작업거리에 따라 용접특성이 달라진다. 작업거리는 초점렌즈를 사용하여 조사한 초점의 크기에 따라 에너지 밀도가 달라지기

때문에 시편에서 레이저빔을 흡수하여 형성된 초점크기 변화를 정확하게 예측한다는 것은 용접의 품질에 매우 중요하게 작용한다. 이와같은 이유로 레이저의 출력변화에 따라 시편에 조사된 초점크기의 변화를 확인하기 위해 출력을 변화시키면서 작업거리 별로 조사하여 작업거리 선정 후 SS41 2 mm 두께의 시편을 겹치기 용접하였다. 공정조건은 레이저 출력 1,800 W, 빔 이송속도 1.2~2.2 m/min으로 하였다. 그 후 SS41 소재 표면에 니켈을 약 30 μm 도금한 후 위와 같은 공정조건으로 겹치기 용접을 하였다. 소재 별로 겹치기 용접특성을 고찰하기 위하여 용접단면을 관찰 하였고, 중형비와 입열량을 측정하는 방법으로 실험결과를 분석하였다. 중형비와 입열량 계산식은 아래 식 (1)과 식 (2)로 계산하였다.

$$\delta = \frac{\text{Depth}}{\text{Width}} \quad (1)$$

$$E = \frac{P}{w \times v} [\times 10^3 \text{ J/cm}^2] \quad (2)$$

식 (2)에서 P 는 레이저 출력이고 w 는 용접폭, v 는 레이저빔의 이송속도이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 레이저공정 최적화

초점위치는 레이저 용접에서 용접비드의 단면폭을 결정하는 중

Fig. 3 beam spot size configuration according to the focal position **Fig. 4 beam spot size cross-section according to the focal position**

요한 요인으로 작용한다. Fig. 3은 초점크기, Fig. 4는 초점위치별 단면 사진을 나타내고 있다. 레이저빔을 시편에 조사한 시간은 180 ms이고 레이저 출력은 500, 600, 700 W로 변화시키면서 시편에 레이저빔을 조사하였다. 레이저빔을 시편 표면에 가깝게 위치한 다음 위쪽 방향으로 초점렌즈를 이동하면서 레이저빔을 조사한 결과를 나타내고 있다. 초점크기가 가장 작은 위치를 0으로 하고 아래 방향은 (-), 위 방향은 (+)로 표시하여 실험결과를 나타냈다. 작업거리가 같은 위치에서 레이저 출력을 증가시키면 시편에 조사되어 흡수되는 에너지가 증가하여 초점크기도 증가하고 있는 현상을 확인할 수 있다.

Fig. 4의 실험결과를 이용하여 종횡비를 식 (1)로 계산한 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 레이저의 출력이 작을 때는 초점위치를 벗어난 위치에서 레이저빔을 조사할 때 집중된 에너지 밀도가 적어 시편 주변부로 열전도 되어 손실되는 양이 많기 때문에 종횡비가 작게 나타났다. 레이저의 출력이 증가하면 초점거리에서 집중되는 에너지 밀도가 높아져 순간적으로 시편 깊이 방향으로 흡수되는 에너지 양이 증가하면서 종횡비가 크게 나타나지만 초점거리에서 벗어나면 레이저의 에너지 밀도가 급속하게 감소하여 시편 깊이방향으로 침투되는 에너지양보다 시편 표면에서 에너지가 주변부로 전도되는 양이 증가하기 때문에 종횡비가 감소하고 있다. 레이저빔의 특성을 고려할 때 작업거리가 초점거리에서 벗어나면 에너지가 크게 감소되기 때문이다. 가우시안 분포로 조사되는 레이저빔이 중심에서 $\frac{1}{e}$ 정도 벗어나면 대부분의 에너지가 손실되는 특성이 있기 때문에 나타나는 현상이다.

초점위치에서 아래방향과 위방향으로 벗어난 위치에서 초점크기가 다르게 형성되고 있는 실험결과를 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 예를 들면 +3의 위치와 -3의 위치를 보면 0의 위치에서 초점거리

Fig. 5 Variations of aspect ratio with respect to the focal position of the welding lens

가 위 방향과 아래 방향의 같은 위치이지만 초점크기가 다르게 형성되었다. 초점거리인 0보다 높은 위치에서 레이저빔이 시편에 조사된 초점크기가 낮은 위치에서 조사된 경우보다 작게 형성되는 현상을 확인할 수 있다. 이와 같이 형성된 이유는 초점거리를 중심으로 레이저빔이 수렴하면서 초점을 형성하면 초점의 크기가 작게 형성되고, 초점위치를 지나 발산하면서 조사된 초점의 크기는 레이저빔의 광자가 발산하는 방향으로 진행하면서 조사되기 때문에 크게 형성된 것으로 판단한다. 레이저빔이 수렴하면서 시편에 조사되면 시편 표면에서 주변으로 발산되는 에너지보다 깊이방향으로 진행하는 에너지양이 많기 때문인 것으로 생각된다. 반대로 레이저빔이 초점거리를 지나 아래방향으로 진행하면서 시편표면에 조사되면 시편표면에서 레이저빔이 발산하면서 조사되기 때문에 시편표면에서 레이저빔의 에너지가 발산되고 시편표면 주위로 열이 전도되면서 나타나는 현상이다. 이상의 결과를 바탕으로 나타낸 Fig. 5의 실험결과를 전체적으로 바라보면 0의 위치에서 가장 종횡비가 크기 때문에 이 위치를 용접 작업거리의 기준으로 하여 용접하였다.

3.2 SS41 겹치기 용접 특성

저탄소강 SS41를 레이저빔의 출력은 1,800 W로 일정하게 하고 레이저빔의 이송속도 1.2 m/min에서 2.2 m/min까지 0.2 m/min 씩 증가시키면서 겹치기 용접 결과를 Fig. 6에 나타냈고, Fig. 7에 용접단면의 상태를 나타냈다. 겹치기 용접을 실시한 이유는 이차전지의 극주로 사용하는 SS41에 극판으로 사용하는 두께 100 μ m의 박판 40장을 일정 간격으로 세운 뒤, T형상으로 용접하기 위한 최적의 입열량을 결정하기 위해서이다. 극주로 사용되는 SS41의 용융깊이에 따라 극주 아래에 세워져 있는 박판을 레이저 용접할 수 있을 정도의 입열량을 결정해야 T형상으로 용접하는 극주에 기공이 발생하지 않은 상태에서 용접이 가능하기 때문이다.

Fig. 7을 살펴보면 극주로 사용하는 저탄소강 SS41의 용접단면에 기포가 있음을 알 수 있다. 기포가 형성된 이유는 레이저빔을 이동시키면서 용접할 때 키홀이 열리게 되는데 상대적으로 용융온도가 낮은 성분이 기화하면서 발생한 기포가 용융단면 표면으로 상승하여 탈출하기 전에 키홀이 닫히면서 포획되었기 때문이다.

저탄소강 SS41의 주성분을 나타내는 C의 용융온도는 3,500°C,

Fig. 6 Comparison of welding bead with beam welding speed

Fig. 7 Cross-section of welding zone after beam welding speed

Mn의 용융온도 $1,246^{\circ}\text{C}$ 이고 Fe $1,538^{\circ}\text{C}$ 인 반면에 S는 115°C , P는 44°C 이기 때문에 용융온도가 낮은 성분이 기화되어 기포로 된 성분이 기홀이 닫히면서 용접단면이 응고되기 전에 탈출하지 못하고 포획되었기 때문에 기포가 형성된 것이라고 생각된다. 레이저빔의 이송속도가 1.2 m/min 일 때 겹치기 용접한 아래 시편의 용입깊이는 약 $320\text{ }\mu\text{m}$ 정도였고, 이송속도가 증가할수록 아래 시편의 용입깊이가 감소하고 있다. 이송속도가 2.2 m/min 에서는 겹치기 용접할 때 아래 시편은 용접되지 않았다. 극주에 T자로 용접되는 박판의 두께가 $100\text{ }\mu\text{m}$ 이기 때문에 박판의 용입깊이는 $100\text{ }\mu\text{m}$ 정도 되면 충분할 것으로 판단된다.

Fig. 6와 Fig. 7의 용접 결과를 바탕으로 종횡비와 입열량을 식 (1)과 (2)로 계산하여 각각 Fig. 8과 Fig. 9에 나타냈다. 종횡비의 경우 레이저빔의 이송속도가 증가하면 레이저빔과 시편이 상호작용하는 시간이 짧아져 용접단면의 폭이 감소하기 때문에 종횡비가 1.8 m/min 까지 증가하였다. 그러나 이송속도가 2.0 m/min 이상 증가하게 되면 레이저빔과 시편이 상호작용하는 시간이 더욱 감소하여 충분한 입열량이 되지 못하기 때문에 용입깊이 감소로 인해 종횡비 계산결과 감소하고 있다.

식 (2)로 표현되는 입열량은 용접비드 폭과 이송속도의 함수로 표현된다. 레이저빔의 이송속도가 빠르고 용접비드 폭이 증가하면 입열량은 감소하게 된다. 실험결과를 바탕으로 입열량을 계산하여 그래프로 나타낸 Fig. 9를 고찰해보면 레이저빔의 이송속도가 증가하면서 입열량이 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 레이저빔으로 겹치기 용접을 하면 레이저빔의 이송속도가 빨라질수록 레이저빔

Fig. 8 Aspect ratio of beam welding speed

Fig. 9 Heat input of beam welding speed

과 시편이 상호작용하는 시간이 짧아 용접단면의 폭이 감소하기 때문에 식 (2)로 계산하는 입열량이 증가해야 하지만, 입열량 계산에서는 레이저빔의 이송속도가 더 많은 영향을 주기에 속도증가에 따라 입열량이 감소하고 있다.

3.3 니켈 도금된 SS41 겹치기 용접 특성

Fig. 6에 나타난 용접단면 내 기포를 제거하고, 이차전지의 성능을 향상시키기 위해 시편 표면에 니켈을 코팅하여 용접하였다. 본 연구에서는 이차전지의 극주로 사용하는 SS41시편 표면을 Ni도금하여 용접 특성을 분석하였다. 통상적으로 니켈은 고온 환경에서 우수한 내부식성을 가지고 있어서, 상온에서 가공성이 우수하기 때문에 일반적으로 Ni도금하여 각종 기계부품의 내부식성을 강화시킨다. 따라서 부피가 큰 기계부품의 내부식성 강화를 위해 Ni도금으로 표면개질을 한다.

위에서 언급한 것처럼 Ni를 시편에 도금했을 경우 많은 강점을 가지고 있다. 도금되지 않은 SS41 겹치기 용접과 용접성을 비교하기 위해 동일한 실험조건으로 Ni도금한 시편을 겹치기 용접한 결과를 Fig. 10에 나타냈다.

Fig. 11은 니켈도금된 SS41 겹치기 용접 단면을 나타냈다. 도금하지 않고 겹치기 용접했을 때 공정조건에 따라 기공이 발생하는 차이는 있지만 용접단면에 기공이 많이 관찰되었는데, Ni로 도금하여 겹치기 용접하면 용접단면에 기공이 발견되지 않았다. 이는 SS41 시편의 대부분을 차지하는 Mn의 경우 용융온도가 1,246℃인데 도금층을 형성하는 Ni의 경우 용융온도가 1,453℃로 Mn보다 고온의 Ni이 용융물에 혼합되면서 용융물에 형성된 기포를 키홀 외부로 분출시킬 수 있도록 용융물의 유동상태를 유지하고 있기 때문이라고 판단한다. 이와 같은 현상이 가능한 이유는 Mn의 비중은 7.43인데 비하여 Ni의 비중은 8.90이기 때문에 고온의 Ni성분이 중력의 영향으로 아래로 내려가면서 용융물의 유동상태를 지속시키면서 기포를 외부로 분출할 수 있었을 것이라고 생각한다. 따라서 이차전지의 극주로 이용하고 있는 SS41의 재료에 Ni을 도금하

면 내식성 향상뿐만 아니라 용접특성도 개선됨을 관찰하였다.

Fig. 11에서 Ni도금된 SS41 겹치기 용접단면을 나타낸 결과를 바탕으로 레이저빔 이송속도의 변화에 대한 종횡비의 변화를 Fig. 12에 나타냈다. 레이저의 출력을 1,800W로 하고 레이저빔의 이송속도를 1.2 m/min에서 2.2 m/min로 변화시키면서 입열량을 변화시켰을 때 종횡비의 변화를 나타낸 것이다. 레이저빔의 속도를 2.0 m/min 까지 증가시키면 레이저빔이 시편과 상호작용하는 시간이 줄어들면서 용접단면의 폭이 감소하지만 용입깊이 증가하면서 종횡비가 커지고 있다. 이송속도가 2.2 m/min에서는 레이저빔이 시편에 조사하는 시간이 상대적으로 더 작아져 용입깊이 감소로 종횡비 값은 작아졌다.

Fig. 13는 레이저 출력을 1,800 W로 하고 레이저빔의 이송속도와 용접단면의 변화에 따른 입열량을 나타낸 것이다. 일반적으로 이송속도가 증가하면 입열량은 감소하는 것이 레이저 용접의 특징 중 하나이다. 그러나 Ni을 표면에 도금한 후 용접을 하면 SS41의

Fig. 10 Comparison of welding bead with beam welding speed

Fig. 11 Cross-section of welding zone to the beam welding speed

Fig. 12 Aspect ratio of cross nozzle and beam welding speed

Fig. 13 Heat input of cross nozzle and beam welding speed

Fig. 14 Microstructure of SS41 T-joint welding side area

성분인 Mn의 열전도율이 300 K일 때 $7.81 W/(m \cdot K)$ 인데 비하여 Ni의 열전도율은 $90.9 W/(m \cdot K)$ 이기 때문에 레이저빔의 이송속도가 증가할지라도 Ni를 도금하지 않았을 때의 실험결과를 나타낸 Fig. 9와 비교하면 입열량의 변화가 크지 않게 나타났다.

산업현장에서 일반적으로 사용하고 있는 아르곤 TIG 용접 결과를 나타내는 Fig. 2의 결과와 비교하기 위해 저탄소강 SS41을 극주로 하고 그 아래 T자 형상으로 두께 $100 \mu m$ 극판 40장을 용접한 결과를 Fig. 14에 나타냈다. Fig. 14에 나타난 것처럼 극주에 기포가 발생하지 않은 상태에서 T자 형상으로 용접된 극판이 Fig. 2와 비교했을 때 용접단면의 크기는 작고 내부의 균열과 기포가 발생하는 결함이 없이 양호하게 용접된 결과를 나타내고 있다. 이상의 결과로 미루어 보면 레이저용접이 용접단면이 상대적으로 크고 내부에 균열이 발생하는 아르곤 TIG 용접보다 생산성은 높고, 용접단면이 작아 냉각할 때 발생하는 내부 균열이 없을 뿐만 아니라 기공이 없기 때문에 내구성이나 전기전도 측면에서 우수 할 것으로 판단된다.

4. 결론

이차전지로 사용하는 저탄소강 SS41을 레이저 용접했을 때 발생할 수 있는 기포를 제거하고, 내부 결함이 많은 아르곤 TIG 용접한 결과와 비교 했을 때 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 저탄소강 SS41을 연속파형 Nd:YAG 레이저로 겹치기 용접했을 때 소재를 구성하는 조성분의 용융 온도의 차이 등 다양한 이유로 용접단면 내에 기포가 발생할 수 있다는 것을 알았다.
- (2) 저탄소강 SS41을 겹치기 용접할 때 발생할 수 있는 기포는 시편표면에 Ni코팅하여 겹치기 용접하면 기공 발생을 억제 할 수 있음을 실험적으로 확인했다.
- (3) 이차전지를 구성하는 두께 $2 mm$ 인 극주와 두께 $100 \mu m$ 극판으로 사용하는 저탄소강 SS41을 T형상으로 용접했을 때 아르곤 TIG 용접에 비해 Ni 코팅하여 레이저 용접했을 때 용접단면은 작고 내부결함이 제거되었다. 이때 입열량 SS41은 $5664.9 J/cm^2$ 이고 니켈도금된 SS41은 $5313.4 J/cm^2$ 이었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

References

- [1] Ahn, S. H., Jeong, J. H., Nam, K. W., 2005, Evaluation of Characteristic for SS400 and STS304 Steel by Weld Thermal Cycle Simulation-1st Report: on the Mechanical Properties and Microstructure, Journal of Ocean Engineering and Technology, 19:6 64-71.
- [2] Oh, Y. S., Yoo, Y. T., Shin, H. J., 2009, A Study on T-Joint Welding by High Power Fiber Laser of SAPH Steel Plate for Automobile, Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers, 17:3 35-44.
- [3] Moon, Y. H., Baek, W. S., 2001, Surface Hardening Technology for Die Materials, Journal of the Korean Society for Heat Treatment, 14:1 42-48.
- [4] Henderson, M. B., Arrell, D., Heobel, M., Larsson, R., Marchant, G., 2004, Nickel-Based Superalloy Welding Practices for Industrial Gas Turbine Applications, Science and Technology of Welding and Joining, 9:1 13-21.
- [5] Choi, S. H., Kim, C. S., Jhang, K. Y., Shin, W. S., 2011, Influence of Surface Roughness on Morphology of Aluminum Alloy After Pulsed-Laser Irradiation, Trans. of the KSME(A), 35:9 1105-1111.
- [6] Yang, Y. S., Hwang, C. Y., Yoo, Y. T., 2011, Multi-thin Plate Welding Characteristics of Low Carbon Steel for Ni-MH Battery of using Continuous Wave Nd:YAG Laser, Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 20:6 720-728.
- [7] Lee, J. H., 1996, A Study of the Welding between Low Carbon Steel and Martensitic Stainless Steel by CO₂ Laser Beam, A Thesis for a Master, Yonsei University, Republic of Korea.
- [8] Eroglu, M., Aksoy, M., Orhan, N., 1999, Effect of Coarse Initial Grain Size on Microstructure and Mechanical Properties of Weld Metal and Haz of a Low Carbon Steel, Material Science and Engineering, A269:1-2 59-66.
- [9] Miles, M. P., Pew, J., Nelson, T. W., Li, M., 2006, Comparison of Formability of Friction Stir Welded and Laser Welded Dual Phase 590 Steel Sheets, Science and Technology of Welding & Joining, 11:4 384-388.
- [10] Kim, J. M., Kim, I. H., Choi, B. K., Kim, J. D., 2004, Autogenous

Welding Properties of Aluminum Alloys by Multi Wavelength Laser, Journal of the Korean Welding and Joining, 22:1 32-37.

- [11] Yang, Y. S., Hwang, C. Y., Yoo, Y. T., 2012, T-joint Welding Characteristics of Multi-thin Plate Dissimilar Thickness of SS41 of Automobile Battery by using Nd:YAG Laser, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 29:10 1078-1088.
- [12] Ueji, R., Fujii, H., Cui, L., Nishioka, A., Kunishige, K., Nogi, K., 2006, Friction Stir Welding of Ultrafine Grained Plain Low-carbon Steel Formed by the Martensite Process, Material Science and Engineering a Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 423:1-2 64-71.