

# 리튬이온전지의 전해액 주입구 볼에 대한 Nd:YAG 레이저 용접성

김 종도<sup>+</sup>·유 승조<sup>++</sup>·김 장수<sup>+++</sup>

## The Weldability of Aluminum Ball in Electrolyte Injection Hole by Nd:YAG Laser

Jong-Do Kim<sup>+</sup>, Seung-Jo Yoo<sup>++</sup> and Jang-Soo Kim<sup>+++</sup>

**Abstract** : This study suggested the occurrence source of weld-defects and its solution methods in a welding of Electrolyte injection hole by pulsed Nd:YAG laser. In experiment, the ramp down was used in order that solidification crack was removed. Furthermore, shrinkage stress and heat input were reduced by changing of weld trajectory and defocused distance. As a results of a experiment, a sound weld bead shape and crack-free weld bead can be obtained.

**Key words** : ulsed Nd:YAG laser(펄스 Nd:YAG레이저), Aluminum ball(알루미늄 볼), Electrolyte injection hole(전해액 주입구), Solidification crack(응고 균열), Shrinkage stress(수축 응력)

### 1. 서론

본 연구에서는 펄스 Nd:YAG레이저의 열원을 이용하여 만들어지고 있는 리튬이온전지의 전해액 주입구(ball-cap)를 밀봉하는 용접에 있어서 용접시 발생하는 균열을 방지하기 위하여 개선된 크레이터(crater)의 처리방식을 이용하여 용접부의 결함 억제 및 방지법에 대한 근본적인 대안을 제시하고자 하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 용접부 크레이터 처리법 개선

균열이 발생하는 1차 비드와 2차 비드의 교차점을 제거하기 위해 Fig. 1과 같은 레이저 출력과형의 램프다운(ramp down) 기능을 이용한 크레이터 처리방식을 도입하였으며, 그림 중 1cycle(2π)의 의미는 볼의 원주방향으로 1회전하면서 용접하는 경로를 말한다.

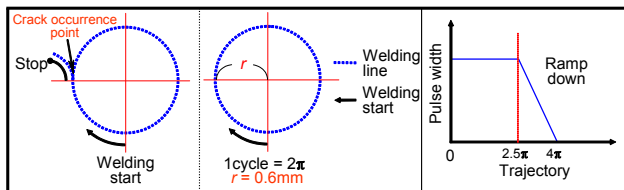


Fig. 1 Processing method of crater for leak prevention

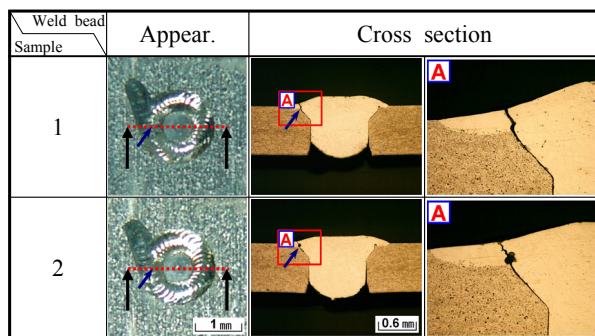


Fig. 2 Cross section of welds and leak position by improved press head (A1090 annealed ball, 150MPa)

#### 2.2 볼 재료의 변경

전해액 주입구의 밀봉용접 공정에서는 험핑비드(humping bead), 스패터, 기공 및 편홀 등의 많은 용접결함이 발생되어 왔다. 여기에서는 금속학적 측면에서 관점을 달리하여 용접성 개선을 위한 또 하나의 대안으로서 볼의 사용재료를 현재의 A1000 계열에서 A4000계열로 바꿀 경우에 고려될 수 있는 이점에 대하여 이론적·실무적 차원에서 정리하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 용접부의 단면형상과 누설상황

Fig. 2는 A1090 어닐링처리 볼을 사용하여 용접을 행하고 150MPa로 수중압력 누설시험을 행한 후 누설이 발생한 시편의 비드외관과 단면형상을 나타낸다. 누설이 발생하는 부위를 관찰하여 보면, 비드가 중첩되는 부분 중 균열감수성이 높은 크레이터를 처리하기 위해 1차 비드 위에 2차 비드가 외주로 빠져나가는 교차점에서 균열이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 그 위치를 그림의 비드 외관 상부에 화살표로써 표시하였다. 이러한 균열발생의 원인으로는 재용융에 의한 경도의 상승과 응고시의 수축응력에 기인한 것으로 사료된다.

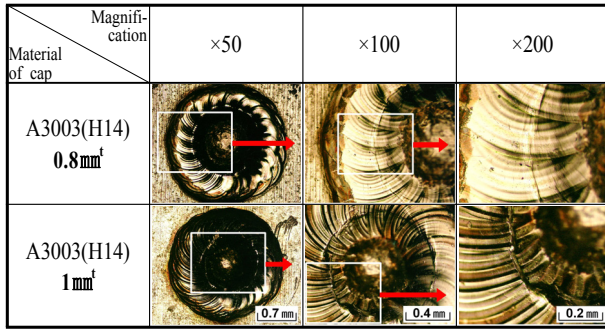
#### 3.2 용접부 크레이터의 처리방법 개선

캡의 두께별 램프다운에 의한 크레이터 처리효과를 검증하기 위한 실험결과를 Fig. 3에 나타낸다. 여기서 구형펄스 후반부의 램프다운시간을 조정하는 것은 캡의 미소한 두께차이에 따라 용융 금속의 급속응고거동 및 그에 수반되는 응력집중상태를 정성적으로 평가하기 위해서 정한 조건이다. 관찰결과 (a)의 경우, 캡의 두께가 0.8mm<sup>1</sup>인 경우에는 실제 균열에는 이르지 않았다 하더라도 균열의 징후를 보이고 있었으며, 1mm<sup>1</sup>인 경우에는 균열이 발생하였다. 이것은 용접후 냉각시의 응고수축응력에 기인한 것으로 판단되며, 이를 감소시키기 위해 구형펄스의 5/4cycle(2.5π)를 1cycle(2π)로 줄이고, 램프다운시간을 3/4cycle(1.5π)에서 1/4cycle(0.5π)로 짧게 하여, 용접후 캡에 흡수되는 입열량을 감소시키고자 하였다. 그 결과를 Fig. 3(b)에 나타내고 있다. 캡 두께 0.8mm<sup>1</sup>의 경우에는 매우 양호한 비드를 얻을 수 있었으며, 캡의 두께가 두꺼운 1mm<sup>1</sup>의 경우에는 다소 개선되기는 하였으나 여전히 균열이 발생하였다. 이것은 캡의 두께가 0.2mm 두꺼운 만큼 냉각속도가 빨라지게 되며 급속응고현상을

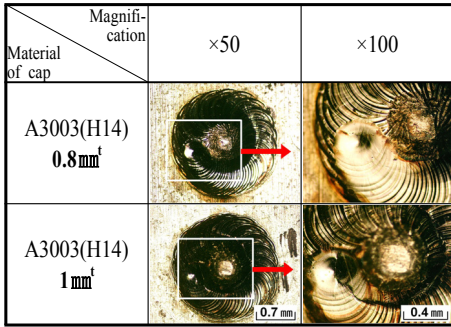
+ 김 종도(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail: jdkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4253

++ 유 승조(한국해양대학교 대학원[현, (주)엠에스 오토텍])

+++ 김 장수(한국해양대학교 대학원)



(a)  $5/4$ cycle( $2.5\pi$ ) square shape pulse +  $3/4$ cycle( $1.5\pi$ ) ramp down



(b) 1cycle( $2\pi$ ) square shape pulse +  $1/4$ cycle( $0.5\pi$ ) ramp down

Fig. 3 The effect of crater processing by ramp down of each cap thickness

수반하면서 볼의 내측으로 응고수축응력이 크게 작용하기 때문이라고 사료된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 나머지 용접조건은 그대로 유지하되 용접궤적의 반경( $r$ )만을 0.6mm에서 0.5mm로 줄여 볼 표면 전체를 거의 용융시키는 형태를 취하여 볼 내측으로 작용하는 수축응력을 감소시키고자 하였다. Fig. 4에 그 결과를 나타내고 있는데, 캡 두께 1mm<sup>t</sup>의 경우에는 균열이 없는 매우 양호한 용접 결과를 얻을 수 있었으나 0.8mm<sup>t</sup>의 경우 오히려 거대한 편홀이 발생하였다. 이러한 편홀 결함의 발생원인은 상대적으로 캡의 두께가 얇은 0.8mm<sup>t</sup>의 경우 같은 출력의 빔 에너지라 하더라도 캡과 볼의 경계면에 직접적으로 조사하는 형태가 되어 형성된 것으로 판단된다.

이와 같은 편홀이 형성되는 결함을 해결하기 위해 캡 두께 0.8mm<sup>t</sup>의 경우에는 나머지 조건은 그대로 유지하면서 집광레이저 빔

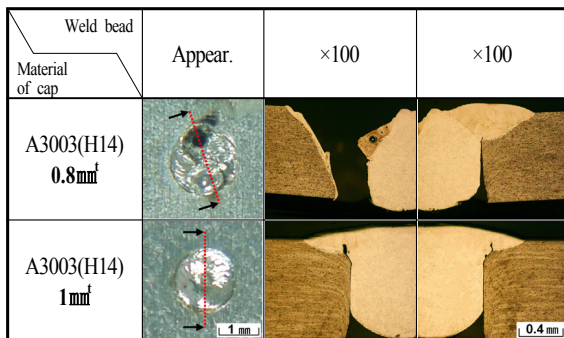


Fig. 4 Result of crater processing by reduction of welding trajectory radius of each cap thickness

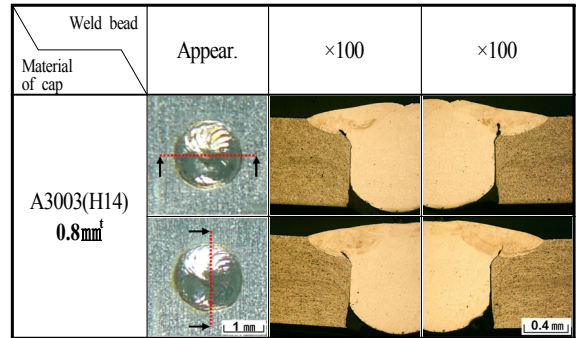


Fig. 5 Crater processing by defocused distance of focusing optics ( $f_d=+0.7$ mm)

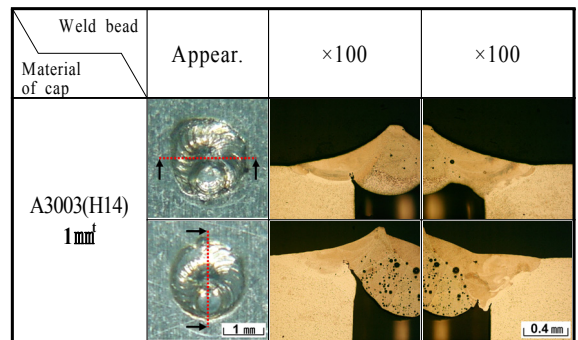


Fig. 6 Welding of electrolyte injection hole by A4047 wire

의 파워밀도를 낮추어 실험을 행하였으며 Fig. 5에 집광광학계의 비초점거리에 따른 크레이터의 처리결과를 나타낸다.

### 3.3 볼 재료의 변경

A4047 와이어를 이용하여 밀봉용접한 예를 Fig. 6에 나타낸다. 단면관찰결과, 볼을 압입하지 않고 와이어를 임의로 녹여 용접하였으므로 부정형의 용접금속 단면에는 많은 기공을 보이고 있다. 그러나 용접금속부의 접합상태는 매우 양호하였으며 150MPa로 15초간의 수중압력 누설시험에서 17개의 모든 시험편에서 누설은 발생하지 않았다.

이 실험은 재료학적 근거에 의해 이루어진 것으로서, A4047은 현재의 와이어 형태가 아닌 기존의 원형으로 압입하여 용접에 적용할 경우 볼의 재질형상이 서로 다른데 기인하여 용접결과에 다소 차이가 날 수도 있다. 일반적으로 피용접체의 형상인자는 용접결과에 영향을 미치는 주된 지배인자 중 하나이기 때문이다.

## 4. 결론

1) 볼 용접시 램프다운 기능을 이용하여 균열이 주로 발생하는 1차 비드와 2차 비드의 교차점이 없는 용접을 행하였다. 캡의 두께에 따라 입열량 및 집광빔의 파워밀도를 달리하여 용접을 행한 결과 결함이 없는 매우 양호한 용접결과를 얻을 수 있었다. 또한 수중압력 누설시험 결과, 모두 누설이 발생하지 않았다.

2) A4047은 용점이 낮아 용융액의 흐름을 좋게 함으로서 응고수축응력이 작아져 균열발생이 억제되는 효과가 있다. A4047 와이어를 이용하여 용접한 결과 용접금속부의 접합상태는 양호하였으며, 150MPa의 수중압력 누설시험 결과에서도 누설이 발생하지 않았다.

## 참고문헌

- [1] 김종도, 유승조, 리튬이온전지의 밀봉용접을 위한 펄스 Nd:YAG레이저 용접조건 최적화, 2005년도 전기 학술대회 논문집, pp. 274-278, 2005