

리튬이온전지의 펄스 Nd:YAG레이저 용접시 용접결함의 발생원인과 방지대책

The Occurrence of Weld-defects and Its Preventive Methods in Pulsed Nd:YAG Laser Welding of Lithium-ion Battery

김 종도*, 유 승조**, 박 현준**, 김 영식***

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국해양대학교 기계소재공학부

1. 서 론

본 연구에서는 현재 알루미늄을 사용하여 만들어지고 있는 리튬이온전지의 케이스(can-cap) 및 전해액 주입구(ball-cap)를 밀봉하는 용접에 있어서 펄스 Nd-YAG 레이저를 이용한 용접시 발생하는 각종용접결함의 발생 메카니즘을 규명하고 실무적인 방지대책을 제시함으로써, 리튬이온전지의 레이저 용접품질 향상을 위한 기술개발을 목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에서 사용된 리튬이온전지 케이스(can, cap)의 재료로는 알루미늄 합금인 A3003(H14)를 사용하였으며, 전해액 주입구의 밀봉용 ball 재료로는 A1000계열의 순 알루미늄을 사용하였다. Table 1은 리튬이온전지에 사용된 can, cap 및 ball의 재료에 대한 화학적 조성을 나타낸다. Ball의 종류는 A1050 ball, 연질 A1050 Ar처리 ball, 연질 A1090 어닐링처리 ball로 분류된다. A1050 Ar처리 ball의 경우, 경도가 낮아서 가공성은 좋으나 형상이 균일하지 못하고 일그러져 있으며 내부에 기공이 존재하는 등의 많은 결함을 가지고 있었다. 따라서 A1090 어닐링처리 ball로 대체하고 있는 실정이다.

Table 1 Chemical compositions of material (wt%)

Element Material	Mn	Fe	Mg	Cu	Si	Zn	Ti	Al
A3003(H14)	1.0	0.55	0.33	0.13	0.1	0.005	0.02	Bal.
A1050	max 0.05	max 0.4	max 0.05	max 0.05	max 0.25	max 0.05	max 0.03	min 99.5
A1090	-	max 0.04	-	max 0.01	max 0.03	-	-	min 99.92

2.2 실험방법

2.2.1 전해액 주입구의 밀봉용접

Fig. 1(a)~(c)는 각각 전해액 주입구의 외관형상, 용접비드 외관 및 ball-cap 용접이음부의 개략도를 나타낸다. (a)의 전해액 주입구를 통하여 전지의 내부로 전해액을 주입하고 가압장치를 이용하여 Ball을 압입한 후 (b)와 같이 용접하게 되는데, 이 경우 균열감수성이 높은 크레이터를 Cap측으로 유도하였다. 그 때의 용접부 위치 및 사용재료의 치수를 (c)의 개략도에 나타낸다.

2.2.2 Ball-cap 용접시 크레이터의 처리 개선

균열발생의 가능성이 높은 1차 비드와 2차 비드의 교차점을 제거하기 위해 레이저 출력파형의 램프다운(ramp down) 기능을 이용한 크레이터 처리방식을 도입하였다. 실험 재료는 cap의 두께가 0.8mm인 경우와 1mm인 경우의 두 조건에서 A1090 어닐링처리 ball을 사용하였다. 그리고

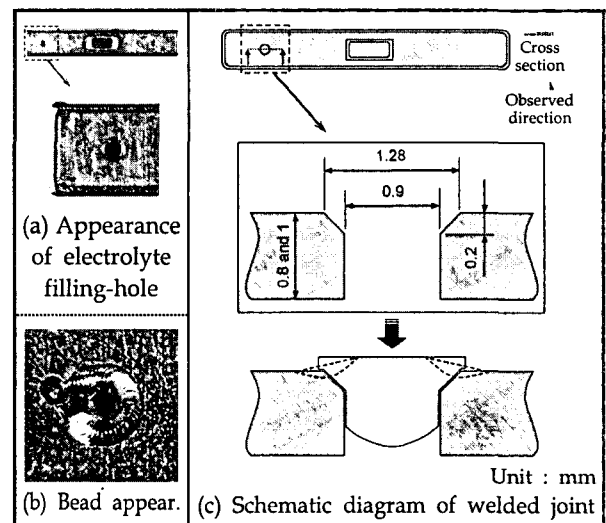


Fig. 1 Appearance and schematic diagram of welded joint in ball-cap welding

용접궤적의 반경(r)을 0.6mm에서 0.5mm로 줄여서 ball 내측으로 작용하는 수축응력을 감소시키고자 하였으며, 집광빔의 파워밀도를 낮추기 위해 비초점거리(f_a)를 0mm에서 0.7mm로 변경하여 용접을 행하였다.

2.2.3 수중에서의 공기압력에 의한 누설시험

수중압력 누설시험의 방법은 먼저 드릴을 이용하여 전지의 측면에 압축공기를 주입할 수 있는 구멍을 뚫은 후 compressor와 연결된 압력시험용 지그에 전지를 고정시키고, 밸브를 열어 압축공기를 전지에 주입시킨 다음 수조에 넣어 규정된 시간동안 누설 여부 및 위치를 관찰한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 리튬이온전지의 용접특성

3.1.1 Can-cap의 이음형상에 따른 용접특성

Fig. 2는 can-cap의 측면용접 및 하향용접을 위한 전지의 이음부 개략도를 (a)와 (b)에 각각 나타내고, Fig. 3은 측면용접과 하향용접시의 비드외관 및 단면형상을 비교하여 나타낸다. 측면용접에서는 전지의 can과 cap 접촉부 4면을 각각 다른 용접헤드를 이용하여 4회에 걸쳐 측면에서 용접을 행하였고, 그 때의 이음부 개략도와 사용재료 및 크기를 Fig. 2(a)에서 확인할 수 있다. 이와는 달리, 하향용접에서는 하나의 용접헤드로 아래보기 용접자세에서 보다 단순한 공정으로 행할 수 있다. 또한, 네 면의 cap 모서리에 $R=0.8mm$ 의 곡률반경을 주어 1회의 패스(pass)로 용접을 가능하게 한 것이 특징이다.

이러한 can-cap의 용접에 있어서 측면용접은 용접하는데 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라, 용접

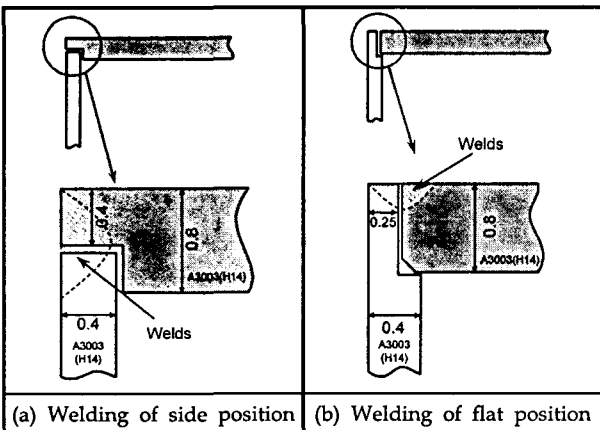


Fig. 2 Schematic diagram of welded joint

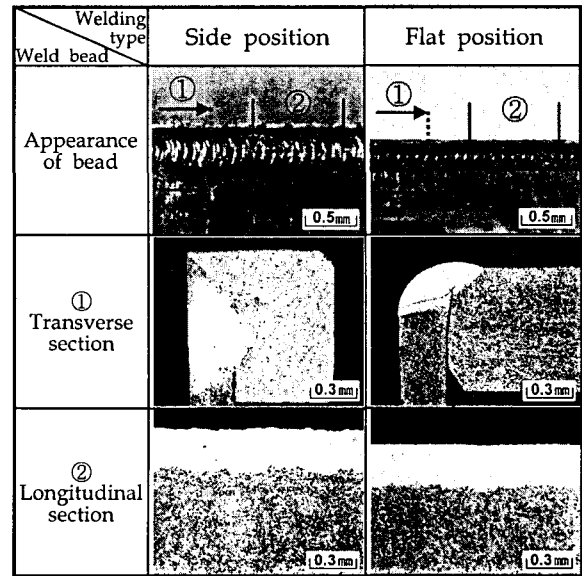


Fig. 3 Weld bead in welding of side and flat position

궤적에 오차가 크고, 모서리부의 용입불량으로 인한 많은 용접결함을 가지고 있었다. 따라서 하향용접으로 그 이음형상과 용접방법을 변경함으로써 용접시간을 감소시킴과 동시에 용접궤적의 정도(精度) 및 용접성을 향상시킬 수 있었으며, 수중압력 누설시험에 있어서도 누설이 없는 매우 양호한 용접결과를 얻을 수 있었다. 그러나 하향용접에서도 용접궤적의 정도 및 can과 cap의 가공정도가 용접품질에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 전지를 보다 고용량의 박판으로 만들 경우 중요한 변수로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.2 전해액 주입구의 밀봉용접특성

(1) Ball 압입후 cap의 변형

Fig. 4에는 ball의 재질(A1050 ball, A1090 어닐링처리 ball) 및 압입헤드 개선에 따른 cap의 변형정도를 비교하여 나타낸다.

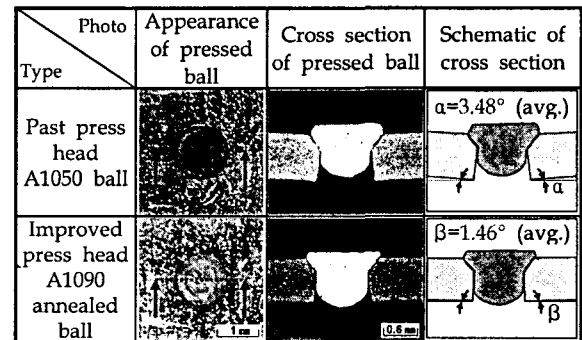
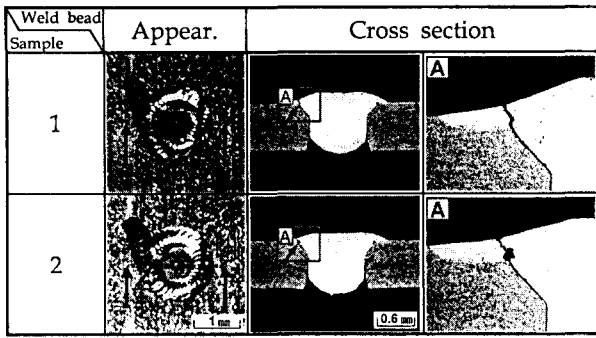


Fig. 4 Variation degree of cap by ball quality and press head



— Leak position

Fig. 5 Cross section of welds and leak position after improving press head(A1090 annealed ball, 15kgf/cm²)

기존 압입헤드를 이용하여 A1050 ball을 압입하였을 경우, 평균 3.48°정도 변형됨으로써 cap과 ball간의 간극이 발생하였지만, 개선 압입헤드를 이용하여 보다 연질인 A1090 어닐링처리 ball을 압입하였을 경우에는 평균 1.46°정도로 변형이 매우 적어 cap과 ball간의 간극이 거의 발생하지 않았다. 이러한 간극은 용접성과 누설시험 결과에도 큰 영향을 주었다.

(2) 용접후 ball 용접부의 단면형상과 누설상황

Fig. 5는 A1090 어닐링처리 ball을 사용하여 용접을 행하고 15kgf/cm²으로 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 있었으며, 그 위치를 그림의 비드 외관 상부에 화살표로서 표시하였다. 이러한 균열발생의 원인으로는 재용융에 의한 경도의 상승과 응고시의 수축응력에 기인한 것으로 사료된다.

(3) Ball 용접부 크레이터의 처리방법 개선

Cap의 두께별 램프다운에 의한 크레이터 처리 효과를 검증하기 위한 실험결과를 Fig. 6에 나타낸다. 펄스레이저 출력파형으로서, 5/4cycle(2.5π) 구형펄스 + 3/4cycle(1.5π) 램프다운의 조사조건이다. 관찰결과 cap의 두께가 0.8mm^t인 경우에는 실제 균열에는 이르지 않았다 하더라도 균열의 징후를 보이고 있었으며, 1mm^t인 경우에는 균열이 발생하였다. 이것은 용접후 냉각시의 응고수축응력에 기인한 것으로 판단되며, 이를 감소시키기 위해 구형펄스 5/4cycle(2.5π)을 1cycle(2π)

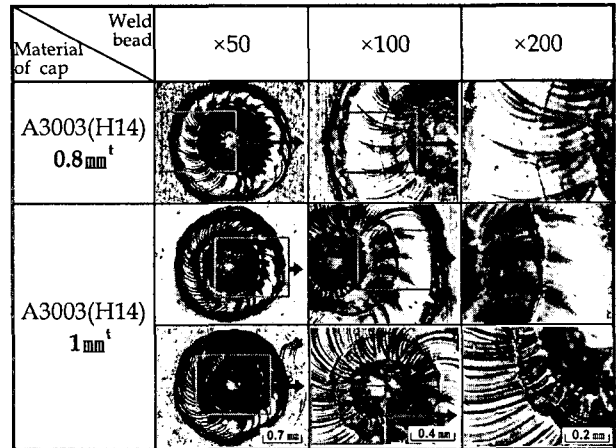


Fig. 6 Crater processing by ramp down in different cap thickness

로 줄이고, 램프다운시간을 3/4cycle(1.5π)에서 1/4cycle(0.5π)로 짧게 하여 용접후 cap에 흡수되는 입열량을 감소시키고자 하였다. 0.8mm^t의 경우에는 매우 양호한 비드를 얻을 수 있었으며, cap의 두께가 두꺼운 1mm^t의 경우에는 다소 개선되기는 하였으나 냉각속도가 빠른 만큼 여전히 균열이 발생하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 나머지 용접 조건은 그대로 유지하되 용접극의 반경(r)만을 0.6mm에서 0.5mm로 줄여서 ball 표면 전체를 거의 용융시키는 형태를 취하여 ball 내측으로 작용하는 수축응력을 감소시키고자 하였다. Cap두께 1mm^t의 경우에는 균열이 없는 매우 양호한 용접결과를 얻을 수 있었으나 0.8mm^t의 경우 오히려 거대한 편홀이 발생하였다. 이러한 편홀은 Fig. 7에 나타낸 것과 같이 집광광학계의 비초점거리를 변화시킴으로써 해결할 수 있었다.

이렇게 용접을 하여 얻은 전지를 15kgf/cm²의 압력으로 15초간 수중압력 누설시험을 행한 결과 모두 누설이 발생하지 않는 매우 양호한 용접결과를 얻었다.

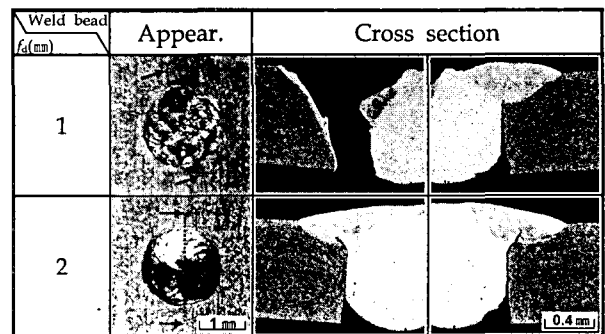


Fig. 7 Result of crater processing by defocused distance of focusing optics <A3003(H14)0.8mm^t>