

리튬이온전지의 밀봉용접을 위한 펄스 Nd:YAG레이저 용접조건의 최적화

김 종도⁺·유 승조⁺⁺

Optimization of Pulsed Nd:YAG Laser Welding Conditions for Sealing of Lithium-ion Battery

Jong-Do Kim⁺, Seung-Jo Yoo⁺⁺

Abstract : Laser material processing is a very fast growing technology for various industrial applications, because of many advantages. Its major advantage of less and controlled heat input has been exploited successfully for the very critical application of aluminium alloy welding. This study suggested the occurrence source of weld-defects and its solution methods in a welding of lithium ion battery by pulsed Nd:YAG laser. In experiment, battery case has changed over joint geometry from welding of side position to flat one. In case of a electrolyte injection hole in order to seal it, welding is carried out after pressing Al ball. At this time, an eccentric degree, contact length and gap are worked as a major parameters. As improving the method of Al ball pressing, it was able to reduce an eccentricity, increase the contact length and decrease gap. 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 welding(펄스 Nd:YAG레이저 용접), Lithium ion battery(리튬이온전지), Aluminium alloy(알루미늄 합금), Joint geometry(이음형상)

1. 서론

지구상에 유한한 알루미늄과 같은 친환경 리튬이온전지에 대한 관심이 높아지면서 관련 연구가 가히 폭발적으로 이루어지고 있다. 이러한 친환경 재료는 고속경량화 및 고연비를 추구하는 경제적이동수단의 기반산업을 지탱하는 버팀목의 역할을 하기에 이르렀다. 더욱이 나노기술의 발달로 정밀가공이나 성막 프로세스와 같은 미세가공에서는 기존의 아크열원보다 레이저빔, 전자빔, 플라즈마 등의 고에너지와 고과워밀도를 가진 열원을 적용하고 있다^{[1],[2]}. 특히 레이저빔은 코히런트(coherent)한 고과워밀도의 열원으로 정밀·미세가공이 가능하고, 어

스펙트 비(aspect ratio)가 큰 용접이 가능하다. 그 중 Nd:YAG레이저는 광화이버(optical fiber)로 광을 전송할 수 있는 특성을 이용하여 자동화라인으로의 적용이 가능하게 되었으며, 그 출력이 최근에 이르러 고출력화가 이루어짐으로써 실용화가 더욱 가속화되고 있다^[3-5].

본 연구에서는 현재 알루미늄합금을 사용하여 만들어지고 있는 리튬이온전지의 케이스(캔-캡) 및 전해액 주입구(볼-캡)를 밀봉하는 용접에 있어서 펄스 Nd:YAG 레이저를 이용한 용접시 발생하는 각종 용접결함의 억제 및 방지를 위해서 그 발생 메커니즘을 규명하고 실무적인 방지대책을 제시함으로써, 리튬이온전지의 레이저 용접품질 향상을 위한 기술개발을 목적으로 하였다.

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

++ 유 승조(한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과)

Table 1 Chemical compositions of material (wt%)

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

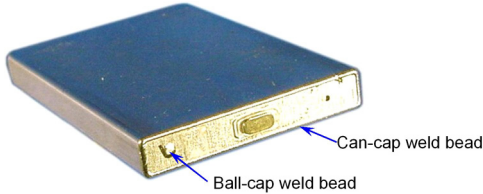


Fig. 1 Appearance of lithium-ion battery and weld bead

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 리튬이온전지의 케이스(캔과 캡)에 알루미늄 합금인 A3003(H14)을 사용하였으며, 전해액 주입구의 밀봉용 볼 재료로써 A1000계열의 순 알루미늄을 사용하였다. 리튬이온전지에 사용된 캔, 캡 및 볼의 재료에 대한 화학적 조성을 Table 1에 나타내고, Fig. 1에는 본 연구에 피용접재료로 사용한 리튬이온전지의 외관형상과 용접부를 나타내었다.

볼의 종류는 제조 방법에 따라 A1050 볼, 연질 A1050 볼 및 연질 A1090 볼로 나뉜다. 연질 A1050 볼은 고주파 가열(680~700℃)하여 녹인 후

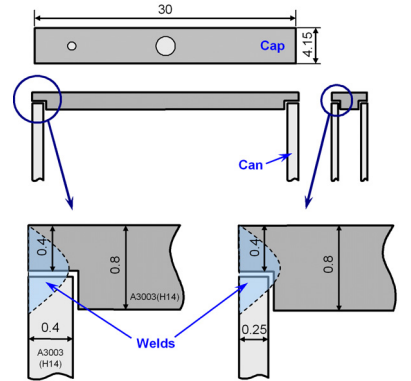
Type	A1050 ball	A1050 Ar-treated ball	A1090 annealed ball
Characteristic			
Appearance of ball			
Cross-section of ball			
Hardness (H_v)	34.1	19.64	23.26

Fig. 2 Characteristics of various balls

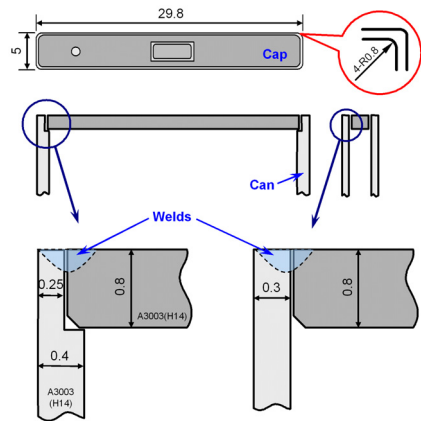
Ar 분위기의 챔버 내에서 만들며, 연질 A1090 볼은 어닐링처리(380~400℃에서 1시간정도 유지한 후 230℃까지 로냉한 후 취출)하여 만든다. Fig. 2는 실험에 사용된 각종 볼의 외관과 단면 형상 및 각종 볼의 비커스 경도를 나타낸다. A1050 Ar처리 볼의 경우 경도가 현저하게 낮아서 가공성은 좋으나 그 외관과 단면형상에서 확인할 수 있듯이, 형상이 균일하지 못하고 일그러져 있으며 내부에 기공이 존재하는 등의 많은 결함을 가지고 있다. 따라서 A1090 어닐링처리 볼로 대체하여 실험을 행하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 리튬이온전지의 케이스용접



(a) Welding of side position



(b) Welding of flat position

Unit : mm

Fig. 3 Schematic diagram of welded joint in can-cap welding

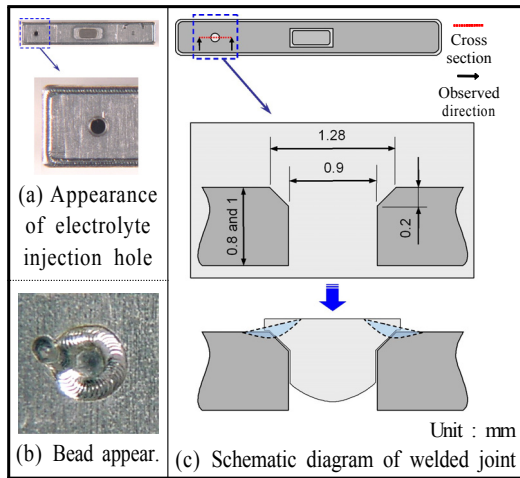


Fig. 4 Appearance and schematic diagram of welded joint in ball-cap welding

본 연구에서 사용된 용접장치는 펄스 Nd:YAG 레이저 용접기이며, Al합금의 경우 용접시의 스패터 비산 및 재료의 급속응고에 의한 균열 등의 결함을 억제하기 위하여 펄스의 후반부에 출력을 낮춘 테일링 파형(tailing-wave shape)을 적용하였다.

Fig. 3은 전지 케이스의 측면용접 및 하향용접을 위한 이음부의 개략도를 (a)와 (b)에 각각 나타낸다. 측면용접의 경우에는 전지의 캔과 캡 접촉부 4면을 각각 다른 용접헤드를 이용하여 4회에 걸쳐 측면에서 용접을 행하였고, 그 때의 이음부 개략도와 사용재료 및 크기를 Fig. 3(a)에서 확인할 수 있다. 이와는 달리, 하향용접에서는 하나의 용접헤드로 아래보기 용접자세에서 보다 단순한 공정으로 행하였다. 또한, Fig. 3(b)의 캔과 캡 평면형상(평면도)에서 볼 수 있듯이, 네 면의 캡 모서리에 $R=0.8\text{mm}$ 의 곡률반경을 주어 하나의 용접헤드로 원패스(one pass) 용접을 가능하게 한 것이 특징이다.

2.2.2 전해액 주입구의 밀봉용접

전해액 주입구의 용접시에도 전지 케이스의 용접시와 동일하게 테일링 파형을 적용함으로써 미연에 용접결함을 방지하고자 하였다.

전해액 주입구의 밀봉용접에서 전해액 주입구의 외관형상, 용접비드 외관 및 볼-캡 용접이음부의 개략도를 Fig. 4(a)~(c)에 각각 나타낸다. (a)의 전해액 주입구를 통하여 전지의 내부로 전해액을 주입하고 가압장치를 이용하여 볼을 압입한 후 (b)와 같이

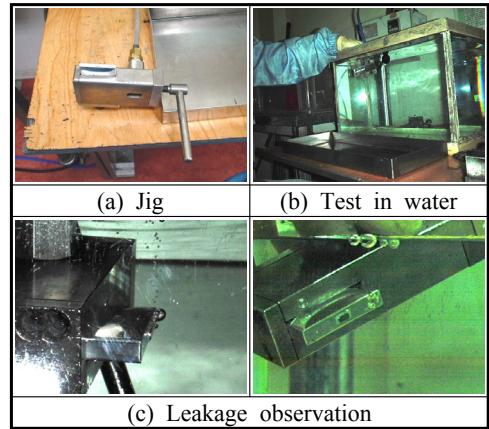


Fig. 5 Leakage test of battery by air compressor in water

용접하게 되는데, 이 경우 균열감수성이 높은 크레이터를 캡측으로 유도하였다. 이 때의 용접부 위치 및 사용재료의 치수를 (c)의 개략도에 나타낸다.

2.2.3 수중에서의 압축공기에 의한 누설시험

Fig. 5는 수중압력 누설시험을 하고 있는 모습을 나타내고 있다. 진행과정은 먼저 드릴을 이용하여 전지의 측면에 압축공기를 주입할 수 있는 구멍을 뚫은 후 (a)와 같이 압축기(compressor)와 연결된 압력시험용 지그에 전지를 고정시키고, (b~c)와 같이 수조에 넣은 후 밸브를 열어 압축공기를 전지에 주입시킨 다음 규정된 시간동안 누설 여부 및 위치를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 리튬이온전지 케이스의 용접특성

Fig. 6은 측면용접과 하향용접시의 전형적인 비드외관 및 단면형상을 나타내며, Fig. 7에는 측면용접과 하향용접시의 단면사진을 비교하여 나타내었다. 이러한 전지 케이스의 용접에 있어서 먼저 측면용접의 경우에 Fig. 7(a)의 A와 B의 두 면을 비교하여 보면 지그의 정도(精度) 부족으로 인한 비드의 단면형상에 차이가 나고 있으며, 캔과 캡 간의 간극에도 많은 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 C의 모서리부에서 내부의 접합면까지는 용입이 되지 않은 용입불량 현상이 나타나고 있다.

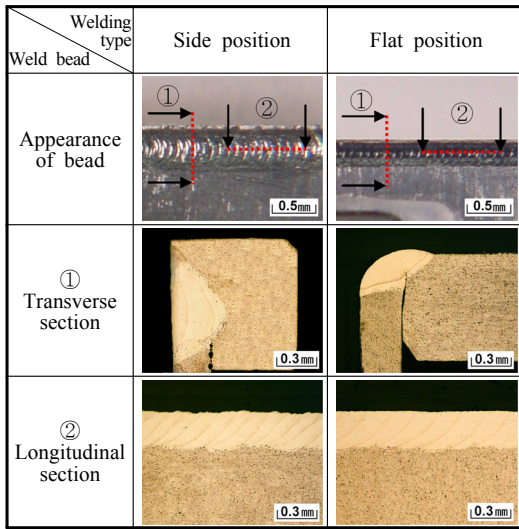
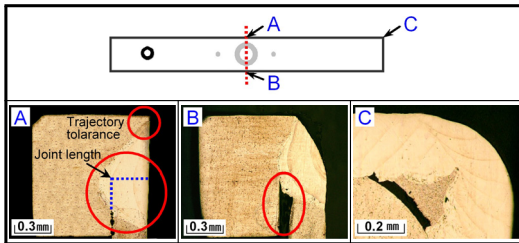
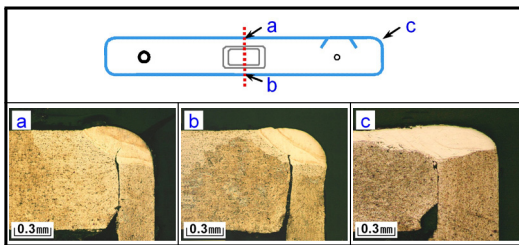


Fig. 6 Weld bead in welding of side position and flat one



(a) Welding of side position



(b) Welding of flat position

Fig. 7 Comparison of side position with flat one

그러나 하향용접의 경우에는, 비드형상이 미려할 뿐만 아니라 Fig. 7(b)의 a와 b에서 볼 수 있듯이 용접계적의 정도 또한 양호하며, c의 모서리부에서는 에너지가 집중됨으로써 용입깊이가 오히려 더 깊게 나타나 매우 양호한 용접결과를 얻을 수 있었다.

따라서 하향용접으로 그 이음형상과 용접방법을

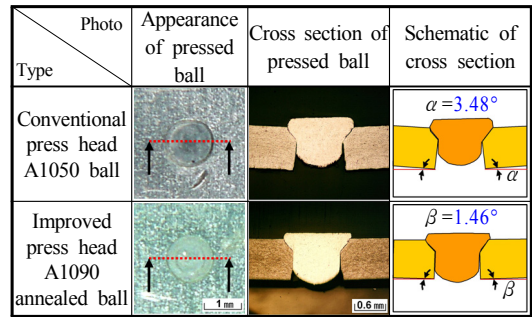


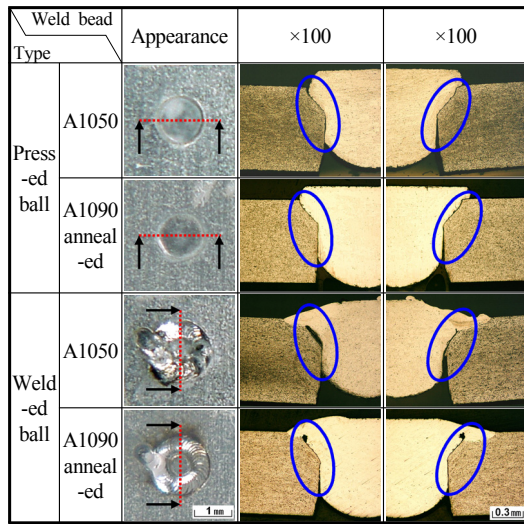
Fig. 8 Deformation of cap by ball and press head

변경함으로써 용접시간을 감소시키고 동시에 용접 계적의 정도 및 용접성을 향상시킬 수 있었으며, 수중압력 누설시험에 있어서도 누설이 없는 매우 양호한 용접결과를 얻을 수 있었다. 그러나 하향용접에서도 용접계적의 정도 및 캡과 캡의 가공정도가 용접품질에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 전지를 보다 고용량의 박판으로 만들 경우 중요한 변수로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

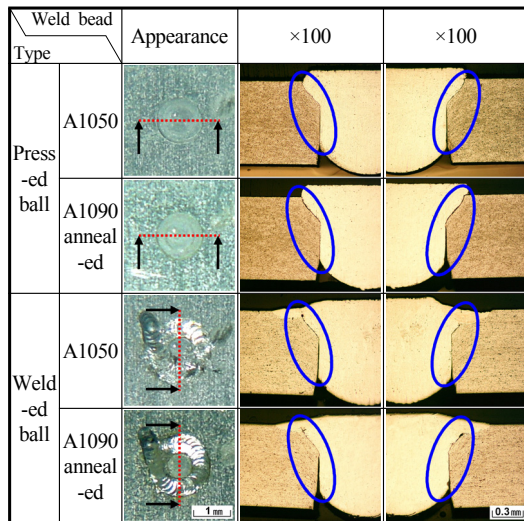
3.2 전해액 주입구의 밀봉용접특성

전해액 주입구를 밀봉용접하기 위해서는 주입구를 통하여 전해액을 주입한 후 압입장치를 이용하여 주입구를 AI 볼을 이용하여 압입시키는데, 기존의 압입헤드 방식은 에어실린더와 스프링 장력에 의한 강한 힘이 캡에 직접 전달되어 압입시 캡의 함몰이 발생하였다. 그러나 개선된 압입헤드의 경우에는 타원형의 캡을 회전시켜 볼을 압입하는 방식으로써 작은 하중으로 다수 압입하는 방식을 채택하여 캡의 함몰을 방지하였다. Fig. 8 및 Fig. 9에는 볼의 재질(A1050 볼, A1090 어닐링처리 볼)과 압입헤드 개선에 따른 캡의 변형정도, 편심도, 접촉길이 및 간극을 비교하여 나타내었다.

기존 압입헤드를 이용하여 A1050 볼을 압입하였을 경우, 평균 3.48°정도 캡이 함몰됨으로써 캡과 볼 간의 간극이 발생하여 접촉길이가 줄어들었다. 또한 강한 힘으로 압입함으로써 볼이 한쪽으로 편심되어 있음을 확인할 수 있다. 그러나 개선 압입헤드를 이용하여 보다 연질인 A1090 어닐링처리 볼을 압입하였을 경우에는 평균 1.46°정도로 캡의 함몰이 매우 적어 캡과 볼 간의 간극이 거의 발생하지 않아 접촉길이가 늘어나고, 편심도 또한 줄어



(a) Conventional press head



(b) Improved press head

Fig. 9 Variation of eccentric degree, contact length and gap in pressed and welded ball

들었다. 이러한 간극은 용접시 불의 이탈을 초래하고, 전지 내부의 전해액이 침투하여 용접성과 누설 시험 결과에도 큰 영향을 주었다. 따라서 불의 재질 및 압입헤드의 개선함으로써 캡과 볼 간의 간극을 줄이는 것이 용접성 향상에 크게 기여한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

리튬이온전지의 케이스 및 전해액 주입구의 밀봉을 위한 펄스 Nd:YAG 레이저 용접시 이음형상에 따른 용접성을 평가하고, 기존의 문제점과 공정 개선 및 용접결합의 방지대책에 대하여 검토한 결과를 다음에 정리한다.

1) 리튬이온전지의 케이스 용접의 경우, 측면용접공정에서 하향용접공정으로 개선함으로써 용접헤드를 줄이고 원패스 용접이 가능하게 되었으며 또한 비드의 단면관찰 결과 용접케직의 정도가 매우 양호해졌으며 용입불량 등의 결함이 줄어들었다.

2) 기존의 압입헤드는 실린더의 공기압과 스프링장력 등에 의해 결정되는 강한 압입력으로 인하여 편심, 캡의 함몰 등이 일어나 캡과 볼 간의 간극이 발생하였으나 개선된 압입헤드는 캡을 채용하여 소하중 다압입방식으로 압입함으로써 캡의 함몰을 방지하고, 편심도를 감소시켜 캡과 볼 간의 간극을 감소시킬 수 있었으며, 그 결과 용접성이 크게 향상되었다.

참고문헌

- [1] A. Kar, M. N. Azer, X. Chen, J. Mazumder "Theoretical and Experimental studies of Mass-Transfer in Laser Chemical Vapor Deposition of Titanium", LAMP'92, pp. 929-938, 1992
- [2] M.R.H. Knowles, G. Rutterford et al. "Sub-micron and High Precision Micro-machining Using Nanosecond Lasers", ICALEO'98, Laser Institute of America, pp. 16-19, 1998
- [3] I. Norris, T. Hault, C. Peters and P. Wileman "Material Processing with a 3kW Nd:YAG Laser", Proceedings of LAMP '92, pp. 489-494, 1992
- [4] 김종도, 김영식 "레이저 용접 품질 검사시스템의 현황", 大韓熔接學會誌 第18卷 第4號 別冊, pp. 433-440, 2000
- [5] G. Notenboom, C. Nonhof, K. Schildbach "Beam Delivery Technology in Nd:YAG Laser Processing", Proceedings of LAMP '87, pp. 107-111, 1987