

MCFC용 분리판의 레이저 용접성에 미치는 전처리 및 용접조건의 영향 Effects of Pretreatment and Welding Conditions on Laser Weldability of Separator Panel for MCFC

김기철*, 전중환*, 임희천**

* 포항산업과학연구원

** 한전 전력연구원

1. 서론

성형 분리판은 STS316L 스테인리스강 박판을 절단, 성형, Ni 도금, Al 피막처리 및 열처리 등 여러 단계의 제작 공정을 거쳐야 하는데 단위전지로서의 기능을 갖추기 위하여는 어떠한 방법을 동원하여 반응용기를 만들어야 한다. 이와 같이 복잡한 제작 단계에서 고품위 정밀 용접기술은 필수 불가결한 핵심공정이며 높은 생산성과 품질을 동시에 만족하는 기법의 개발이 관건으로 되어 있다.

성형 분리판의 이음형상은 기본적으로 플랜지 겹치기 용접이지만 동일두께 판재의 용접과 이종두께 겹치기 용접이 적용된다. 용접금속학적으로 성형 분리판의 용접에서 중요시되는 것은 제조과정에서 용접공정의 적용이 어느 위치에 있느냐 하는 것과 그에 따른 용접부 건전성의 확보이다. 왜냐하면 성형 후 용접을 실시하는 경우, 성형과 Ni 도금 후 용접을 실시하는 경우 그리고 성형과 Ni 도금 및 Al 피막처리 후 열처리를 받은 다음 용접을 실시하는 것에 따라 용접될 소재의 조건이 확연히 다르기 때문이다. 제조공정의 효율화와 원가 경쟁력을 감안할 때 용접공정의 위치는 용접 전단계 처리가 모두 끝난 다음 실시하는 것이 바람직하지만 용접품질 보증이라는 관점에서 보면 가장 어려운 조건에서 용접을 실시하는 것이 되어 그 만큼 용접기술의 난이도가 높아진다.

본 연구는 이상과 같은 현실에 대응하기 위한 요구사항을 해결할 목적으로 용접될 재료인 성형 분리판의 용접 전처리를 완료한 단계에서 용접을 실시할 때 발생하는 용접품질의 문제점을 검토하고 용접 생산성과 안정성을 향상시키는 방안을 도출하고자 한 것이다.

2. 실험방법

성형 및 각종 전처리를 받은 판재는 그림 1과 같이 anode mask plate, anode 측 shielded slot, center plate, cathode 측 shielded slot 및 cathode mask plate 로 구성되어 있으며 이들은 용접을 통하여 하나의 분리판으로 만들어진다. 분리

판의 용접부 이음형태는 용접될 위치에 따라 플랜지 2매 겹치기 이음과 플랜지 3매 겹치기 이음이다. 용접실험은 완제품 성형분리판의 실제 생산용접 과정에서 실시하는 것을 원칙으로 하였으나 적정 용접조건의 설정과 실험 결과의 신뢰성을 높이기 위한 시험편 용접도 실시하였다.

용접은 1kW Nd:YAG 레이저 발진기를 장착한 성형분리판 용접전용 시험장치를 사용하였으며 모든 용접부는 완전용입 용접 비드 형성을 기본 조건으로 하였다. 용접과정은 현장관찰 모니터를 이용하여 용접의 전공정을 확인하였으며 용접품질은 용접부 조직시험 결과를 바탕으로 평가가 이루어졌다. 따라서 광학현미경과 전자현미경 및 각종 분석장치들이 실험에 이용되었다.

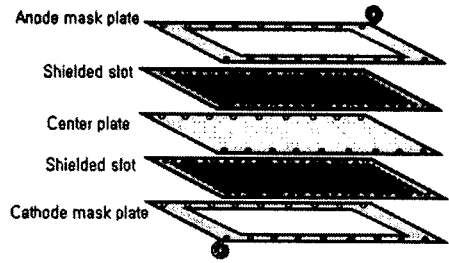


그림 2 MCFC 분리판의 구성

3. 결과 및 고찰

3.1 용접품질의 안정성

분리판의 용접은 직선용접과 다수의 타원용접으로 구성되어 있으며 용접선의 길이는 약 8,600mm이지만 용접 중 조건의 변경이 불가능하기 때문에 국부적으로 적절하지 않은 조건이 발생하면 고가의 중간 소재를 폐기하여야 한다. 그러므로 본 연구에서는 시험편을 이용한 적정 용접조건 설정에 많은 시간을 할애하여 에너지 입열 측면의 용접조건들 뿐만 아니라 용접 지그와 클램프 등 용접성에 직접 또는 간접적으로 영향을 미칠 수 있는 모든 인자들에 대하여 검토를 행하였다. 그렇게 구하여진 용접조건으로 성형품을 용접한 결과 비드 형성은 당초 예상하였던 것과 같이 표면비드 및 이면비드 폭이 각각 약 0.8~1mm 범위에서 형성되는 등 매우 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

그림 2는 적정용접 조건에서 얻은 직선 용접부의 비드 형상을 나타낸 것이다. 위 사진들은 상부 비드를 나타내며 아래 사진은 이면 비드를 보

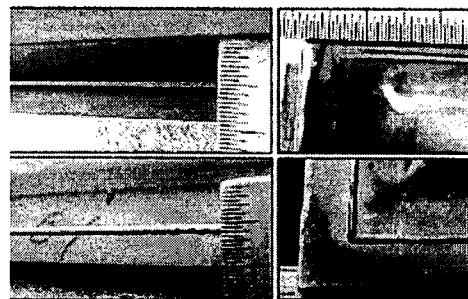


그림 3 분리판 용접부의 표면품질

여주고 있다. 또 왼쪽 사진들은 직선부의 비드를, 그리고 오른쪽 사진들은 모서리 부분의 비드 형상을 보이고 있다. 사진에서 알 수 있듯이 적정용접 조건으로 용접이 실시되었을 경우 모든 용접부에서 소정의 양호한 비드품질을 얻을 수 있었다.

그러나 용접작업 중에 발생하는 미소한 조건의 변화는 용접부 품질에 직접적인 영향을 미치고 있었다. 그러한 예로서 노즐의 미소한 위치 변화는 용접 비드 형성의 재현성에 생각하였던 것보다 훨씬 큰 영향을 미치고 있음이 발견되었다. 동일한 시험재라고 하더라도 성형 후의 각종 처리 과정에서 약간의 품질차이에 따라 용접비드 형성 정도가 다르게 나타나는 경우가 적지 않으므로 용접품질 안정성 확보에 세심한 노력이 필요하였다.

3.2 용접부 미세균열

분리판을 만들기 위한 모든 용접은 시험편을 이용하여 적절한 용접조건을 설정하고 그 결과를 실제의 분리판 제작에 적용한다. 그러나 시험편에서 설정된 적정용접 조건은 그림 3에서 보인 것과 같이 만족스러운 용접부를 얻기 어려운 경우도 있다. 즉 이 실험 결과는 레이저 출력 640W에서 분리판 성형 제품의 구멍부분을 용접한 다음 소정의 기준에 의하여 선정된 위치에 대하여 용접부의 단면을 조사하고 측정된 용접부 미세균열 발생 상황을 나타낸 것이다. 그림의 상부에 제시한 바와 같이 정리된 실험결과에서 condition-1은 Ni 도금만 실시한 시험재로 용접부위는 연속적인 용접비드가 형성된 영역이었다.

실험결과에서 알 수 있듯이 이 영역에서는 용접부의 미세균열이 전혀 발견되지 않았다. 그러나 Ni 도금과 Al 도금 및 열처리를 받은 시험재의 용접에서는 그림의 condition-2와 3에서 볼 수 있는 것과 같이 용접부의 미세균열이 계측되고 있다.

레이저 용접은 종래의 용접법에 비하여 기본적으로 빠른 속도로 용접이 가능한 접합방법이며 매우 적은 용접 에너지를 활용하기 때문에 용융물의 절

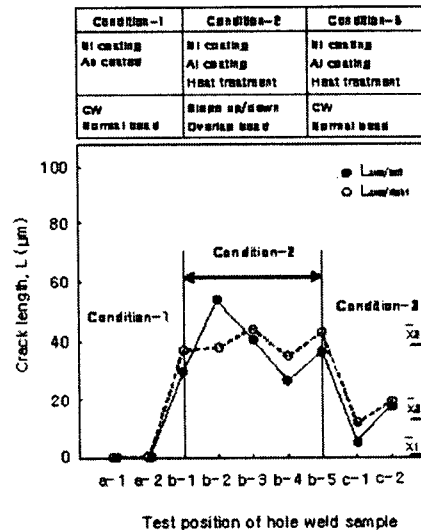


그림 5 소재 및 용접조건과 용접부 균열발생의 상관성

대량 또한 기존의 용접법에 비하여 적다. 그 결과 용융금속의 냉각과정에서 온도 기울기가 높아 응고속도가 빠르며 용접 열영향부의 폭이 좁아진다. 그러한 효과는 용융금속의 응고 양식에도 영향을 미쳐 응고 결정립의 방향이 균일하지 않으며 하나의 결정립 크기도 매우 작아진다. 한편 용융금속의 절대량이 적다는 것은 응고과정에서 수축량이 작다는 것과 같은 의미를 가지고 있다.

레이저 용접부의 결정립 미세화는 입계의 표면적을 넓히는 효과가 클 뿐만 아니라 방향성이 없는 결정 성장으로 용접부 균열 생성에 핵심 역할을 하는 저용점 불순물의 분산효과가 매우 높을 것이 예상되기 때문에 국부적으로 어떠한 현상이 좀 더 우세하느냐에 따라서 용접부 미세균열 생성에 긍정적인 효과를 주기도 하며 부정적인 결과를 가져오기도 할 것이다.

한편 STS316L강의 용접에서 용접균열은 앞에서 언급한 요인들 이외에 용융금속에 존재하는 불순물 원소의 총량과 소재 금속의 Cr 당량과 Ni 당량의 비에 의하여 영향을 크게 받는 것으로 문헌에 나타나 있다. 그림 4는 그러한 문헌들의 내용을 정리한 것으로 스테인리스강의 용접에서는 아크 용접법을 적용하였을 경우에 비하여 Nd:YAG 레이저 용접법을 적용하였을 때 좀 더 용접부 균열에 취약하다는 것을 보여주고 있다. 이 자료에 따르면 용접에 사용된 모재의 화학조성과 용접균열의 가능성을 불순물 원소인 P, S, 및 B 의 총량과 스테인리스강 소재의 Cr_{eq}/Ni_{eq} 값의 관계에서 용접부 균열 발생 특성을 표현하고자 하였다. 이 그림에서 +로 표시한 것은 본 실험에서 검토의 대상이 되었던 연료전지용 국산 스테인리스강이며 이들의 Cr_{eq}/Ni_{eq} 값은 최소 1.489에서 최대 1.607이었고, 통상의 재료와 비교하여 용접균열에 대한 저항성은 동등하거나 다소 낮은 경향이였다.

그러나 전술한 바와 같이 레이저 용접에서 용접부 균열은 용접 금속학적인 요소 이외에 용접부가 응고할 때 발생하는 수축 변형과 그 속도를 무시할 수 없다는 것이 일반적인 사실이다. 따라서 문헌자료는 시험재의 다른 조건이 모두 일정할 경우의 균열감수성 평가 자료로서 활용도가 있으나 그렇지 않을 경우는 참고사항에 불과할 수도 있다.

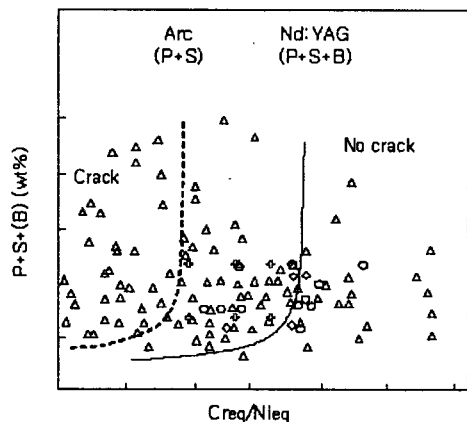


그림 6 용접균열 발생에 미치는 모재의 불순물 함량과 Cr_{eq}/Ni_{eq} 의 관계

3.3 표면처리 피막의 거동

그림 5는 접착기 용접부 계면 부근을 나타내는 전자현미경 사진이다. 이 영역은 Ni 도금을 실시한 소재와 그렇지 않은 소재의 접합부로서 사진 (a)의 좌측은 소재부분이며 우측의 좀 더 거친 조직형태를 나타내는 영역이 용접금속부이다.

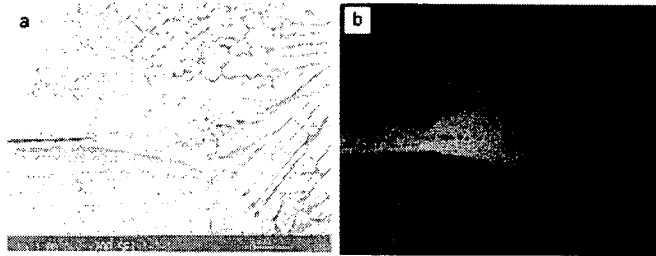


그림 5 레이저 접착기 용접부 접합계면에 존재하는 Ni 도금층의 거동

또 사진 (a)의 왼쪽 상부 시험재에는 그 아래 부분에 백색의 평활한 영역이 있는데 그것은 Ni 도금층이다. 이 실험에서는 용접부의 접합계면에서 기공 또는 용접 균열 등의 결함이 없는 건전한 모습을 볼 수 있으며 시험편 용접에서는 어떠한 용접조건에서도 용접부의 결함이 발견되지 않았다. 한편 사진 (b)는 이 시험편에 대하여 EPMA를 이용하여 면분석한 것으로 용융이 이루어지지 않았던 접합 계면과 용접부가 형성된 영역에서도 높은 농도의 Ni 도금 물질을 확인할 수가 있다.

그림 6은 표면에 잔류하여 있는 Al이 용접 후 어떠한 거동을 보이는지에 대한 조사 결과로서 이 실험은 실제의 성형분리판을 사용한 것이다. 이 경우도 사진 (a)는 고배율 전자현미경 사진이며 (b)는 EPMA 면분석 결과이다. 앞서의 Ni 도금층과 다르게 Al 도금층은 접합 계면에 존재하는 것이 아니라 상부의 표면에 부착되어 있는 것이기 때문에 용접을 실시할 경우에도 접합계면의 특성에 미치는 영향은 경미할 것이 예상되었다.

본 실험의 측정결과를 자세히 살펴보면 표면에 부착되어 있는 Al층은 용접을 실시하는

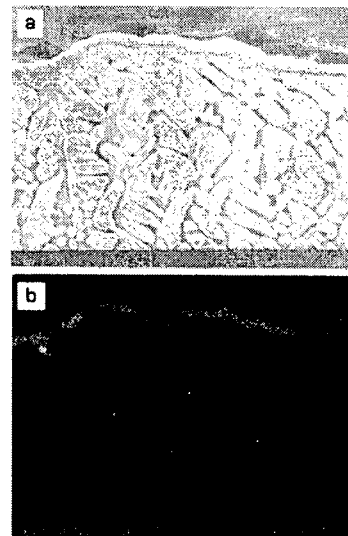


그림 6 분리판 용접금속의 Al 거동

과정에서 용융부에 섞이지 않고 표면에 그대로 부유하고 있다가 용접부의 응고와 함께 잔류하여 남아 있는 모습을 보여준다. 그리고 본 실험의 다른 시험편 실험에서는 표면의 Al도금층이 표면에 그대로 있는 경우와 함께 용융부의 내부로 혼입되어 일종의 개재물 형태를 보이는 경우도 발견되었다.

4. 결론

1) 적정용접 조건으로 분리판 제품을 용접할 경우 모든 용접부에서 양호한 비드 품질을 얻을 수 있었으나 용접작업 중에 발생하는 미소한 작업조건의 변화도 용접부 품질에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 엄격한 용접 공정관리가 필요함을 알 수 있었다.

2) 용접 개시점과 종료점에서는 크레이터 결함 발생 확률을 최소화하고 비드 품질을 확보하기 위하여 레이저 출력의 기울기 제어를 실시하여야 하며 이 영역은 용접부에 적어도 2회의 열사이클을 부여하기 때문에 상대적으로 용접균열의 위험성이 높다.

3) Ni 도금재의 접합계면에서는 Cr_{eq}/Ni_{eq} 값이 크게 상승하기 때문에 종래의 연구결과에 의하면 그에 따른 용접부 균열감수성도 높아질 것이 예상되지만, 본 실험의 조건에서는 Ni의 부정적 영향이 거의 발견되지 않았다. 또 Al 피막은 용접 후 비드 표면에 잔류하거나 용접금속 내부에서 일종의 개재물과 같은 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김기철, 전중환, 임희천: 용융탄산염 연료전지 패널의 레이저 용접기술, 대한 용접학회 추계 학술발표대회 개요집, (2001)
2. 스테인리스 스틸 클럽: 스테인리스강의 용접, 한국철강협회, (1999)
3. J. Honeycombe, T. G. Gooch: Solidification cracking of high speed TIG and laser welds in austenitic stainless steel sheet; Metal Construction Dec., (1986)
4. 西本和俊, 夏目松吾: 스테인레스강의 용접, 産報出版, (2001)