

## 마이크로 열교환기의 레이저 용접부의 온도 특성

### Temperature Characteristics of Laser Welding Parts of Micro Heat Exchanger

강희신\*, 서정\*, 이재훈\*, 김정오\*, 유상현\*, 조해용\*\*

\* 한국기계연구원

\*\* 충북대학교 기계공학부

#### 1. 서 론

본 연구에서 레이저 접합기술을 적용한 용접품은 고온 고압용 고효율 마이크로 열교환기이다. 마이크로 열교환기 제작공정에서 MEMS 기술로 가공된 미세 채널을 갖는 수십~수백장의 적층(stack)을 99%이상의 고신뢰성으로 정밀 접합하는 것이 중요한 기술이다. 국내서 마이크로 열교환기의 접합 기술로 TIG 용접을 이용하였으나 본 연구에서는 열영향이 적고 고정밀 접합을 할 수 있는 레이저용접을 적용하였다. 독일 IMM사는 레이저 용접방식의 초소형 열교환기를 개발 판매하고 있으나, 용도 등이 관련분야의 제품에 특화되어 있다. 국내에서는 마이크로 열교환기의 접합에 레이저용접을 적용이 활성화가 안 된 상태이다. 마이크로 열교환기는 기존의 열교환기에 비해 소형이면서 고효율 열교환 성능을 가지며 또한 고온 고압에 견딜 수 있는 열교환기이다.

마이크로 열교환기 제작에 있어서 수십~수백장의 박판 적층 접합 시 열변형 및 접합 불량을 최소화하는 것이 제조공정 핵심기술 중 하나이며, 기존의 용접 및 브레이징 공법으로는 한계에 도달하였다. 레이저 접합기술은 기존 용접 및 브레이징 방법에 비해 적은 입열량을 사용하므로 열변형을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 자동화가 용이하며 재현성이 뛰어나 고온 고압의 접합 구조의 조인트 형상 및 수율을 향상시키는데 매우 적합하다. 또한, 촉매의 사용 등으로 국부 브레이징을 적용할 경우에는 기존의 브레이징 방식은 불가능하다.

본 연구에서 레이저 용접을 적용한 마이크로 열교환기는 내부의 미세채널에 촉매가 코팅되어

있어서 최종 헤더 부품을 용접해서 완성품을 제작하는 공정에서 촉매에 파괴시키지 않는 것이 중요한 기술이다. 본 연구를 통해 레이저 용접 시 용접부의 온도 변화와 촉매에 미치는 열영향을 실험을 통해 검증하고자 하였다.

#### 2. 실험 방법

마이크로 열교환기의 제작을 위하여 초기에 미세 채널을 갖는 박판을 적층하여 브레이징을 하여 육면체를 만든다. 박판이 적층된 열교환기 육면체의 외부를 감싸고 유체의 유동 입구와 출구가 되는 헤더가 열교환기 네 면에 최종적으로 용접 되어 완성품이 제작된다. 헤더 역시 조각 부품들로 구성되고 레이저 접합을 적용하여 하나의 단품이 된다. Fig. 1의 (a)는 헤더와 적층된 열교환기의 모습이며 (b)는 최종적으로 헤더와 열교환기가 용접이 된 후의 모습이다.

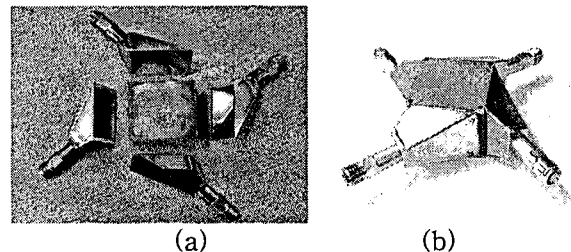


Fig. 1 Micro heat exchanger

레이저 용접을 적용한 마이크로 열교환기는 내부의 미세채널에 촉매를 코팅하여 열교환이 활발하도록 설계되었다. 내부에 코팅된 촉매가 정상적으로 유지될 수 있는 온도가 450°C 이하이다. 촉매 코팅 후 완성품 제작 과정에서 헤더를 접하

기 위해 용접을 하면 내부로 열적 손상을 줄 수 있다. 기존의 TIG 용접법에 비해 입열량이 작은 레이저 접합을 적용하면서 내부로 전달되는 열적 영향을 측정하기 위해서 써머커플을 이용하였다. 열화상 카메라를 이용하여 간접적으로 온도를 측정하였으나 순간적으로 변화하는 온도를 감지할 수 없었다. 헤더가 부착될 용접부에 써머커플을 부착하여 레이저 빔을 조사하면서 실시간으로 온도를 측정하였다. 각 위치별 최고 온도를 관측하면서 촉매가 코팅된 깊이까지 0.5mm 깊이 별로 써머커플을 부착하여 깊이 방향으로 온도 구배를 관찰하였다.

Fig. 2에서 실험에 사용한 온도측정 장치와 Nd:YAG 레이저 시스템을 볼 수 있다. 레이저 시스템은 250W급 펄스 레이저이다. 실험에서 사용한 써머커플은 지름 0.3mm의 K형이며 온도 계측기는 에질런트사의 34970A를 사용하였다. 온도 계측은 100ms 마다 측정을 하였다. Fig. 3에서 온도측정을 위해 사용한 시편을 볼 수 있다. 외곽으로부터 0.5mm 깊이와 3mm 간격으로 써머커플이 부착된 상태에서 윗면에 레이저 빔을 조사하였다.

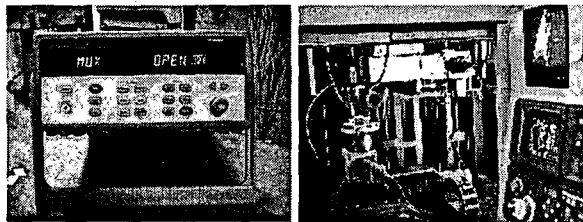
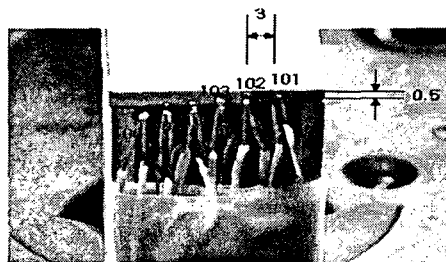
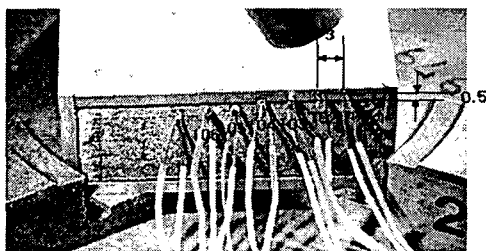


Fig. 2 Experimental equipments



(a) height side



(b) wide side

Fig. 3 Test specimens attached Thermocouple

### 3. 실험 결과

마이크로 열교환기를 레이저 접합하기 위한 용접조건은 Table 1, Table 3과 같다. 용접조건에 따른 온도측정 실험결과는 Table 2, Table 4에 정리되어 있다. Table 2의 결과를 보면은 6번째 채널이 촉매가 코팅된 표면에 근접하는 위치로서 레이저의 입열량이 촉매에 미치는 온도 영향을 알고자 하는 위치이다. 실험결과 전체적으로 측정온도가 150℃ 이하로 위험 온도인 450℃와는 큰 차이를 보였다. Table 4에서도 용접부 내부 온도가 121℃ 이하로 유지 되었다.

Table 1 Welding conditions(height)

	Power	Width	Rate	Speed	height
Test1, Test2, Test3, Test4	60W(3J)	8.5ms	20Hz	0.3m/min	20%
Test5, Test6	80W(4J)	8.5ms	20Hz	0.3m/min	23%
Test7, Test8	100W(5J)	8.5ms	20Hz	0.3m/min	25.5%
Test9, Test10	120W(6J)	8.5ms	20Hz	0.3m/min	29%

Table 2 Experimental results(height)

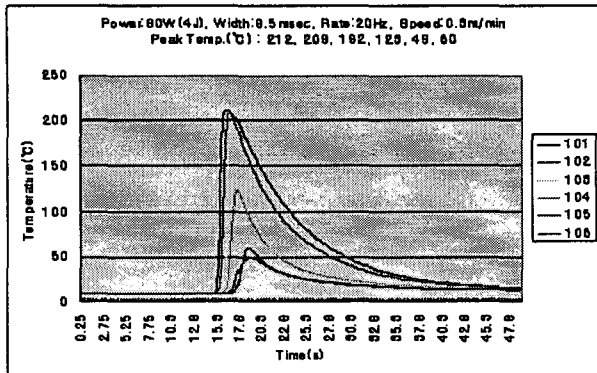
Peak Temp.(℃)	Ch. 101	Ch. 102	Ch. 103	Ch. 104	Ch. 105	Ch. 106
Test1	177	147	151	100	37	47
Test2	177	150	159	102	40	46
Test3	176	175	159	102	39	46
Test4	172	174	162	103	40	48
Test5	212	209	192	123	49	60
Test6	211	210	197	124	48	60
Test7	478	471	437	284	94	108
Test8	497	487	463	288	87	102
Test9	673	664	641	413	119	147
Test10	669	671	664	427	106	140

Table 3 Welding conditions(wide)

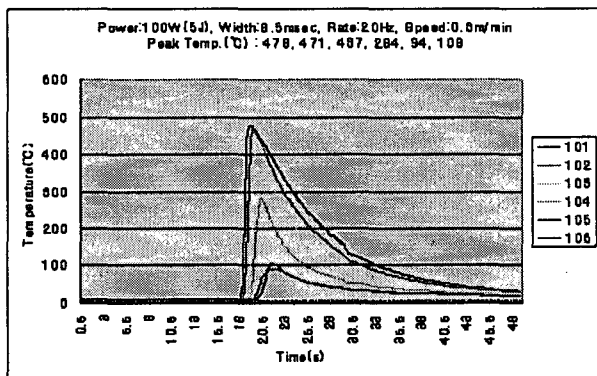
	Power	Width	Rate	Speed	height
Test1	60W(3J)	8.5msec	20Hz	0.3m/min	20%
Test2	80W(4J)	8.5msec	20Hz	0.3m/min	23%
Test3	100W(5J)	8.5msec	20Hz	0.3m/min	25.7%
Test4	120W(6J)	8.5msec	20Hz	0.3m/min	28.5%
Test5	140W(6J)	8.5msec	20Hz	0.3m/min	32.2%

Table 4 Experimental results(wide)

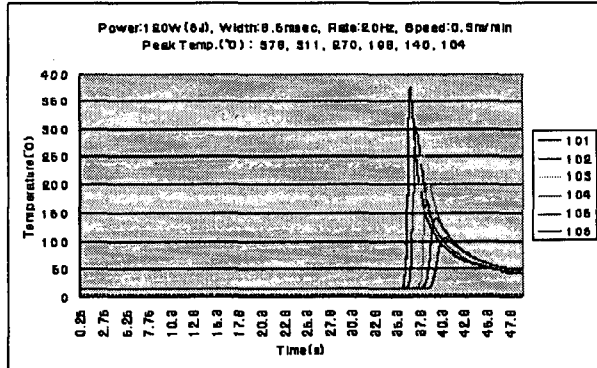
Peak Temp.(℃)	Ch. 101	Ch. 102	Ch. 103	Ch. 104	Ch. 105	Ch. 106
Test1	105	87	77	58	44	35
Test2	144	125	101	74	54	42
Test3	274	227	194	146	103	77
Test4	378	311	270	198	140	104
Test5	450	354	314	232	164	121



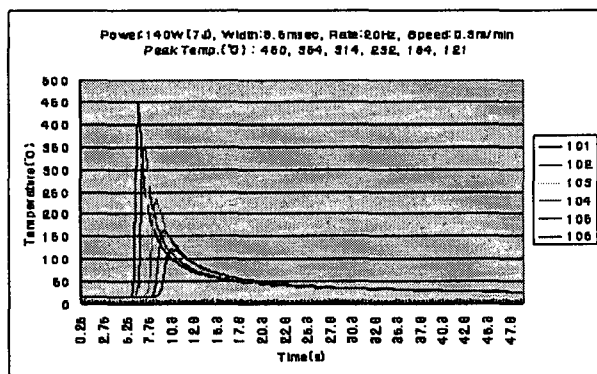
(a) power: 80W



(b) power: 100W



(c) power: 120W



(d) power: 140W

Fig. 4 Graphs of temperature

Fig. 4에서 각 온도측정부의 온도구배를 확인

할 수 있다. 레이저의 파워가 증가할수록 온도의 최고점이 급격히 증가하는 경향을 관찰할 수 있고 레이저 빔이 지나간 후 시편이 냉각하면서 온도가 떨어지는 경향은 동일하다. 실험결과 레이저 접합을 적용한 마이크로 열교환기 내부의 미세채널에서의 온도가 코팅된 촉매가 파괴되는 온도인 450°C 이하로 유지된다는 것을 확인할 수 있었다. 레이저 접합을 적용하면 입열량이 작아 촉매에 미치는 열적 손상이 없다고 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

기존의 열교환기에 비해 경량화되고 미세 채널을 통한 넓은 열전달 효과를 확보하기 위해서는 각 부품을 정밀 접합하고 내부에 코팅된 촉매를 보호할 수 있는 정밀 접합 방법이 요구 되는데 이번 실험을 결과를 토대로 레이저 접합을 적용함으로써 요구 조건을 만족할 수 있을 것이다. 접합 신뢰도가 낮은 TIG 및 일반 브레이징 기술의 한계를 극복하기 위해 레이저 정밀접합을 이용하면 고효율의 마이크로 열교환기 제작이 가능 하리라 본다. 기존의 공정 한계를 극복하는 레이저 정밀 접합 기술 확보로 반도체 및 전자산업으로의 적용분야 확대가 가능하리라 본다.

#### 참 고 문 헌

1. 이석환, 배충식 : 가솔린 엔진의 배기 열교환기 가 촉매 온도에 미치는 영향에 관한 연구, 한국자동차공학회논문집, 12-2 (2004), 1225-6382
2. 김종하, 권오경, 윤재호, 이창식 : 용접식 판형 열교환기의 성능에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회지, 14-1 (2002), 1229-6422
3. 예병준 : 자동차용 알루미늄계 열교환기의 용접, 한국주조광학회지, 7-4 (1987), 348-351