

# 알루미늄 합금 레이저 용접시 고온 균열감수성의 정량화

윤종원

동의대학교 신소재공학과

## 1. 서론

본 연구자의 앞서의 연구 [1]에서는 1000, 5000, 6000계열 알루미늄 합금 판재를 CW CO<sub>2</sub> laser 용접하여 용접비드, 용접부의 종단면, 횡단면을 조사함으로써 이들 알루미늄 합금 laser 용접부의 상대적인 고온균열감수성을 정성적으로 평가하였으며, CW CO<sub>2</sub> laser 용접시 1000계열, 5000계열, 6000계열 순으로 알루미늄 합금의 고온균열감수성이 증가함을 확인하였다. 아크 용접에 비해 매우 빠른 용접속도 (수m/min)를 갖는 laser 용접 process에서는 적합한 고온균열감수성의 정량적 측정 및 평가 방법이 아직 확립되어 있지 않다. 본 연구에서는 앞의 연구를 통하여 고온균열감수성의 상대적인 순위를 정성적으로 평가한 알루미늄 합금 판재를 사용하여 tapered 시편에 CW CO<sub>2</sub> laser 열원으로 autogeneous melt-run 용접할 때 발생하는 비드중균열의 길이를 고온균열감수성의 지수로 삼을 수 있는가를 조사하여 (각 알루미늄 합금 판재의 정성적 고온균열감수성과 tapered 시편에 발생한 비드중균열 길이와의 상관관계를 확인함으로써) 새로운 고온균열감수성 측정평가 방법을 개발·최적화하도록 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용접모재

본 실험에 사용한 알루미늄 합금 판재의 종류, 두께, 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Alloy	Thickness (mm)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
1200	2.0	0.06	0.27	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	0.01	0.01	-
1050	6.0	0.12	0.33	-	-	-	-	-	0.01	-
5251	2.0	0.05	0.16	<0.01	0.23	1.91	<0.01	0.04	-	-
5251	6.0	0.14	0.36	0.03	0.25	2.19	0.02	0.05	-	-
5083	2.0	0.14	0.29	0.02	0.63	4.46	0.05	0.01	-	-
5083	6.0	0.18	0.37	0.02	0.80	4.08	0.15	0.03	0.04	-
6061	1.6	0.62	0.25	0.23	<0.01	0.92	0.17	<0.01	0.02	-
6061	6.4	0.63	0.38	0.30	0.05	0.87	0.20	0.10	0.02	-
6111	2.2	0.63	0.48	0.31	0.10	1.06	0.20	0.14	0.02	-
6082	2.0	0.92	0.42	0.05	0.50	0.90	0.02	0.05	0.02	-
6082	6.4	0.99	0.29	0.03	0.67	0.82	0.01	0.05	0.06	-

Table 1 Nominal chemical compositions (in wt.%) of aluminum alloys used (balance aluminum).

## 2.2 Tapered 시편 형상 및 치수

1.6~2.2mm 두께 sheet는 길로틴 절단으로, 6~6.4mm 두께 plate는 기계가공으로 Fig.1과 같이 용접개시폭( $W_s$ ), 용접종료폭( $W_f$ ), 시편길이(L)을 각각 체계적으로 변화시켜 준비하였다.

## 2.3 Tapered 시편의 melt-run CW CO<sub>2</sub> laser 용접

Tapered 시편의 폭이 좁은 부분( $W_s$ )에서 폭이 넓은 부분( $W_f$ )을 향해 시편 중심선을 따라 Flat position으로 CW CO<sub>2</sub> laser를 사용하여 완전용입 melt-run 용접하였다. 이때 용접개시 부위에서 비드 중심선을 따라 종균열이 발생, 전과하다 중도에서 멈추는 경향을 나타낸다. 용접조건은 완전용입이 되도록 하여, 1.6~2.2mm 두께 sheet의 경우 레이저 출력 5KW, 용접속도 6m/min, 6~6.4mm 두께 plate의 경우 레이저 출력 10KW, 용접속도 5m/min로 하였다.

## 2.4 균열길이 측정 및 균열감수성 지수

Tapered 시편에 나타난 용접비드종균열이 멈춘 곳을 dye penetration 방법을 이용하여 찾아낸 후 균열길이를 측정하였다. 용접비드 길이 (혹은 시편길이)에 대한 비드종균열 길이의 백분율을 percentage crack length (PCL)로 하여 이를 균열감수성의 지수로 사용하였다.

## 2.5 시편 치수의 최적화 및 최적 Tapered시편을 이용한 알루미늄 합금 고온균열감수성 측정

앞서의 연구에서 고온균열감수성이 가장 큰 것으로 조사된 6082 판재(2mm 두께)로 만든 tapered 시편을 기본으로 1200 및 5083 판재를 함께 사용하여  $W_s$ ,  $W_f$ , L 중 두 변수를 고정시킨 상태에서 나머지 한 변수를 변화시키며 PCL에 미치는 영향을 조사함으로써 최적  $W_s$ ,  $W_f$ , L을 선정하였다. 이 실험을 통해 최적화한 tapered시편을 이용하여 여러 종류 알루미늄 합금의 고온균열감수성을 정량적으로 평가하였다.

# 3. 실험결과 및 고찰

## 3.1 시편길이(L)가 종균열 길이 및 PCL에 미치는 영향

용접개시폭( $W_s$ )를 10mm로 하고 시편의 길이를 100, 200, 300mm로 하였을 때 시편길이 가 증가함에 따라 비드종균열길이( $L_c$ )도 증가하였다(Fig.2). 그러나 비드총길이에 대한 비드종균열 길이의 백분율, 즉 PCL은 시편길이와 상관없이 거의 일정하였다(Fig.3). 따라서 비드종균열길이 대신 PCL을 균열감수성지수로 사용하기로 하였다. 시편의 길이가 100mm인 경우에 비해 200mm, 또는 300mm인 경우 PCL값의 분산이 적어 이후의 실험에서는 시편의 길이를 200mm로 고정하고  $W_s$ ,  $W_f$ 를 변화시키며 조사하였다.

## 3.2 용접개시폭( $W_s$ )이 PCL에 미치는 영향

L을 200mm로 고정한 시편에서 용접개시폭( $W_s$ )를 5, 10, 20, 30, 40mm로 변화시켰을 때  $W_s$ 가 증가함에 따라 PCL은 감소하여  $W_s$ 가 40mm일때는 모든 시편에서 균열 발생은 없었으며  $W_s$ 가 5mm와 10mm로 감소함에 따라 PCL은 증가하고 일정한 값을 나타내게 된다 (Fig.4). 따라서  $W_s$ 가 5mm, 또는 10mm일 때 최대 균열감수성을 나타내는 것으로 보이며

본 실험에서는  $W_s$ 의 최적 치수로 이 영역을 선정하였다.  $W_s$ 가 일정할 때  $W_f$ 가 작을수록 PCL은 증가한다. 따라서 적절한  $W_f$  치수의 선정은 6082 합금 판재뿐 아니라 상대적인 고온 균열감수성을 알고 있는 5083, 1200을 함께 조사하여 선정하도록 하였다.

### 3.3 용접종료폭( $W_f$ )이 PCL에 미치는 영향

시편길이(L)을 200mm, 용접개시폭( $W_s$ )를 5mm 및 10mm로 하였을 때 1200, 5083, 6082 합금 판재의 PCL 변화를 Fig.5(a),(b)에 각각 나타내었다.  $W_f$ 가 증가함에 따라 PCL이 감소하여 일정한 값으로 수렴되고 있다. 정성적인 고온균열감수성 평가결과와 유사한 경향을 보이는 tapered 시편치수는  $W_s=5\text{mm}$ ,  $W_f=30\text{--}60\text{mm}$ 이다.  $W_s=10\text{mm}$  경우에는 (Fig.5(b)) 5083과 1200 판재의 고온균열감수성의 순위가 정성적인 평가결과와는 뒤바뀌게 나타났다.

### 3.4 Tapered 시편의 최적치수 선정

Tapered 시편의  $W_s$ ,  $W_f$ , L이 PCL에 미치는 영향을 조사함으로써 최적  $W_s$ ,  $W_f$ , L을 결정할 수 있다. tapered 시편의 최적치수는  $W_s=5\text{mm}$ ,  $W_f=30\text{--}60\text{mm}$ ,  $L=200\text{mm}$ 로 조사되었다. 그런데 용접개시폭( $W_s$ )를 5mm로 할 경우 sheet 시편의 길로틴 절단후 tapered 시편이 변형되는 현상과 plate 시편의 용접 개시부에서 발생하는 용락현상을 극복하기 위해서  $W_s$ 를 10mm로 증가시켰다.  $W_f$ 는 40mm, L은 200mm로 선정하였다. 이 실험에서 얻은 tapered 시편의 최적치수는 Matsuda 등이 [2] 전자비임용접시 고온균열감수성을 측정하기 위해 최적화한 시편 치수와 거의 동일하다.

### 3.5 여러 알루미늄 합금 박판 및 후판의 고온균열감수성

$W_s=10\text{mm}$ ,  $W_f=40\text{mm}$ ,  $L=200\text{mm}$ 일 때 여러 종류의 알루미늄 합금 박판과 후판을 tapered 시편 균열 시험한 결과 Fig.6(a),(b)와 같은 결과를 얻었다. 고온균열감수성을 앞서의 연구에서 조사한 정성적인 결과와 비교할 때  $W_s$ 를 10mm로 하여 1200과 5083의 정량적인 균열감수성의 ranking이 바뀌어 나타났다. 그러나 고온균열감수성의 일반적인 경향이 이 방법에 의해 정량적으로 평가될 수 있음을 확인하였다.

## 4. 결론

용접속도가 빠른 CW CO<sub>2</sub> laser 용접 시 tapered 시편을 이용하여 알루미늄 합금의 고온 균열감수성을 평가할 수 있었다. 최적 시편 치수는  $W_s=5\text{mm}$ ,  $W_f=30\text{--}60\text{mm}$ ,  $L=200\text{mm}$ 이나 실용성의 측면에서  $W_s$ 를 10mm로 하는 것이 실험을 용이하게 하였다.

### 참고문헌

1. 윤종원, "알루미늄 합금 레이저 용접부의 고온균열감수성", 대한용접학회 1999 춘계학술 발표대회 개요집, pp274-277.
2. Matsuda et. al, "A new test specimen for self-restraint Solidification crack Susaptibility test of electron beam welding bead-Fan-shaped cracking test", Trans of JWRI Vol. II, No. 2 1982, pp87-94.

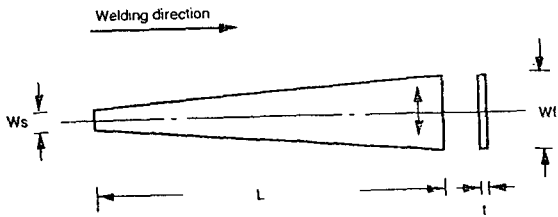


Fig.1 Configuration of tapered specimen used for crack tests.

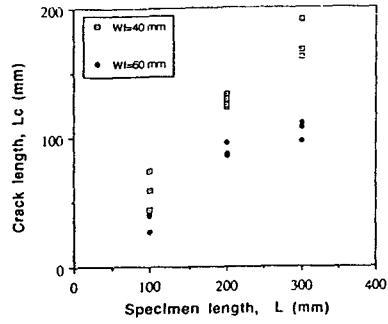


Fig.2 Variation of longitudinal crack length ( $L_c$ ) with tapered specimen length ( $L$ ).

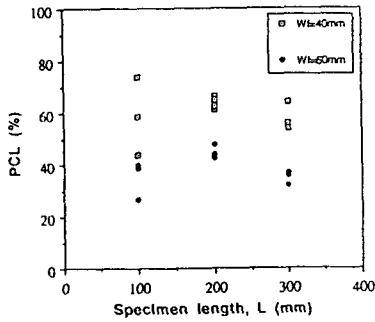


Fig.3 Variation of percentage crack length (PCL) with tapered specimen length ( $L$ ).

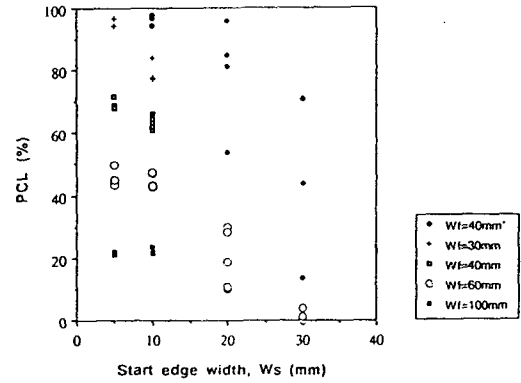
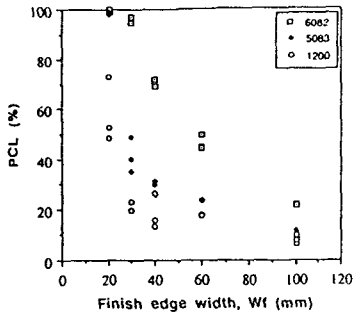
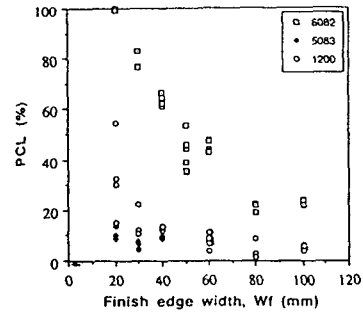


Fig.4 Variation of percentage crack length (PCL) with start edge width ( $W_s$ ) for tapered specimens made of 2mm thick 6082 with different values of  $W_f$  from 30 to 100mm and specimens made of 6.4mm thick 6082 with  $W_f=40$ mm.

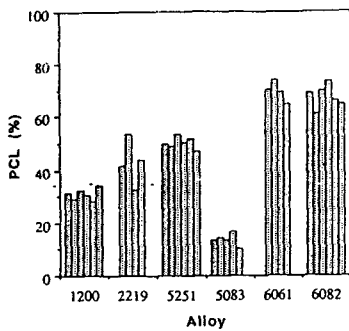


(a)  $W_s = 5$  mm

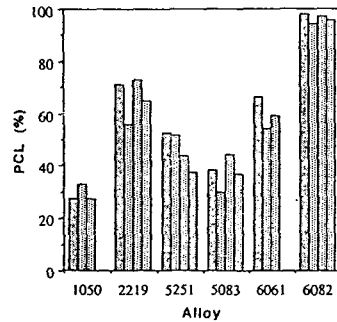


(b)  $W_s = 10$  mm

Fig.5 Variation of percentage crack length (PCL) with the finish edge width ( $W_f$ ) for a range of aluminium alloys.



(i) 2 mm thick alloy



(ii) 6 mm thick alloy

Fig.6 Solidification crack susceptibility aluminium alloy sheet and plate.