

# 알루미늄 판재의 압출점접합공정에 있어서 접합강도에 관한 연구

이정훈<sup>1</sup> · 김태현<sup>1</sup> · 이문용<sup>2</sup> · 진인태<sup>#</sup>

## A Study on Welding Strength of Extrusion-Riveting Process of Aluminum Plates

J. H. Lee, T. H. Kim, M. Y. Lee, I. T. Jin

(Received August 19, 2010 / Revised September 29, 2010 / Accepted October 12, 2010)

### Abstract

It was studied that two plates of aluminum can be welded by extrusion-riveting experiments with extrusion-rivet welding dies, and that the welding strength and metal flow on the welding section were analyzed by computer simulation according to the welding variable such as the diameter of extrusion insert dies. It was known by computer simulation that welding strength on the welding section of plates could be influenced by the diameter of extrusion insert dies. And it was known by experiments that two plates of aluminum can be welded on a spot point on aluminum plate by extrusion-rivet welding process, and that welding strength is higher and higher if the diameter of extrusion insert die is smaller and smaller, and that welding strength is the highest when diameter of extrusion insert dies is  $\varnothing 4.2\text{mm}$  in the case that the diameter of rivet is 5 mm, when aluminum 5052 two plates with 1.5 mm thickness and one plate with 3mm thickness for rivet plate are used as welding material.

**Key Words** : Extrusion-Riveting, Pressure Welding, Spot Welding, Friction Stir Spot Welding, Welding Dies, Aluminum Plate

### 1. 서 론

알루미늄은 가공성이 좋고 여타 금속에 비하여 가벼운 특성을 가지고 있기 때문에 구조물의 경량화 소재로 많이 사용되고 있다. 특히 판재 형태의 알루미늄 소재는 자동차의 내외장재로 수요가 많이 증가하고 있는 실정이다. 그러나 경금속의 특성인 낮은 전기저항으로 말미암아 저항용접에는 한계가 있어 고상용접을 많이 시도하고 있다. 그리고 알루미늄 소재의 특성으로 접합소재가 공기 중에 노출되면 산화알루미늄 막이 형성되는데, 이 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )은 용융접합뿐 아니라

고상용접을 방해하는 작용을 한다[1~2].

일반적으로 두 금속판을 중첩하여 점접합하는 방법으로는 두 장의 금속판을 리벳으로 체결하여 접합하는 리벳팅(riveting)의 기계적 결합법과 부분적인 전기저항에 의한 열과 압력에 의하여 중첩된 금속판사이의 접촉면을 용융하여 두 금속판을 접합하는 점용접(spot welding)의 용융 접합법이 있다. 그리고 리벳팅의 단점인 편칭(punching)공정을 생략함으로써 접합공정을 줄인 셀프피어싱 리벳팅(self piercing riveting)등이 사용되고 있다. 그 밖에도 고상용접의 한 형태로서 프로브(probe)의 마찰열을 이용하여 금속판을 접합하는 마찰교반 점

1. 부경대학교 대학원

2. (주)성우하이텍 기술연구소

# 교신저자: 부경대학교 기계공학과, E-mail:jint@pknu.ac.kr

접합(friction stir spot welding)과 소재의 소성변형을 이용한 결합방법인 클린칭(clinching)공법등이 얇은 판재를 점접합하는 방법의 대표적인 공법으로 사용되어지고 있다[3~6].

리벳에 의한 접합은 소재의 천공과 헤딩으로 이루어진 다소 복잡한 접합공정을 가지고 있으며 리벳 한 개의 단일 접합상태에서는 회전에 대한 접합 강도가 떨어진다. 그리고 셀프피어싱 리벳팅에 사용되는 리벳은 접합을 위한 특수한 형태의 리벳의 제조공정이 선행되어야 한다. 점용접의 경우 접합 소재 사이의 고전류로 인한 아크(arc)발생이 환경적 문제점이 제기되고 있다. 그리고 마찰교반점접합과 클린칭공법은 접합부위의 구멍생성에 의한 강도저하가 단점으로 지적되고 있다.

이에 본 논문은 점접합시에 발생하는 문제점을 극복하기 위하여 제안된 고상접합의 일종인 압출점접합 가공법[7]에 대하여 접합강도를 개선하고자 접합변수의 특징을 해석과 실험을 통하여 연구하였다.

압출점접합공형을 이용한 점접합방법은 접합에 방해가 되는 알루미늄 산화막이 생기지 않도록 소재판에서 리벳을 편칭하여 접합면이 순수한 압입소재를 만든 다음 중첩된 판재에 바로 압입압출하도록 하는 방법이다.

이 접합법의 특징은 용융접합에서 발생하는 아크로 인한 환경적인 문제점을 개선할 수 있으며, 리벳팅과 셀프피어싱 리벳팅의 복잡한 선행공정을 줄일 수 있는 장점이 있으며 리벳의 헤드부분과 같은 불필요한 접합흔적이 남지 않는 특징을 가지고 있다. 따라서 접합강도를 모재의 80%이상으로 유지하도록 하는 최적의 접합변수에 대해서 해석과 실험을 통해서 연구할 필요가 있다.

## 2. 알루미늄판재의 압출점접합공정

### 2.1 알루미늄판재의 압출점접합 원리[7]

Fig. 1은 압출점접합장치의 구조를 나타낸다. 상부 지지다이와 하부 지지다이 사이에 두 장의 알루미늄 판재소재가 중첩되어 장착 되어 있으며, 다이의 상부에 압입소재생성을 위한 알루미늄 상부판재소재가 삽입되어 있는 형태를 나타낸다.

프레스로부터 가해지는 압력에 의해 펀치가 아래 방향으로 눌러지게 되고 상부 판재소재는 전단금형의 직경만큼 편칭되어 압입소재로 만들어진 다음 접합될 두 장의 판재로 이동하게 된다.

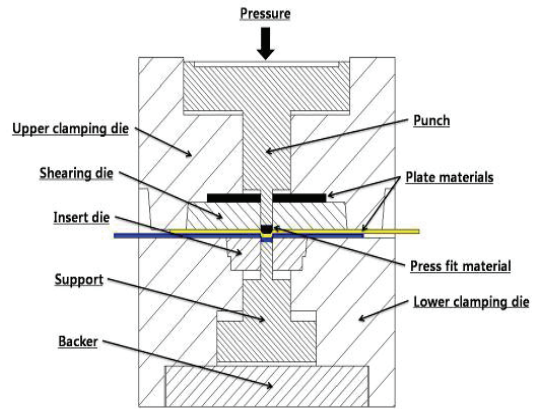


Fig. 1 Die assembly of extru-riveting process

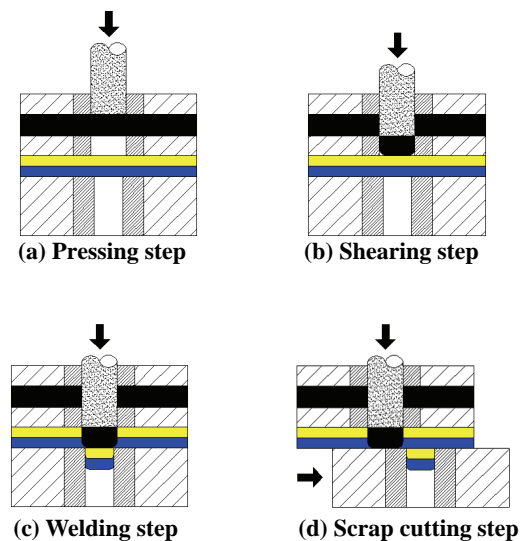
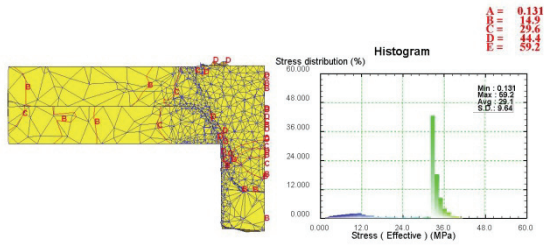
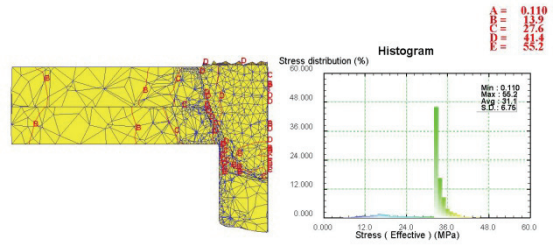


Fig. 2 Extru-riveting process

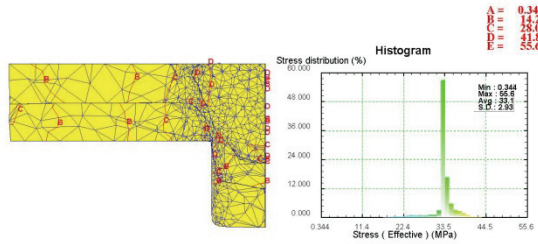
Fig. 2의 (a)는 재결정온도 이상의 충분한 온도에서 상부 판재소재에 압력을 가하는 형상이다. 상부 판재소재는 전단금형에 의해 블랭킹되어 Fig. 2의 (b)와 같은 형상의 압입소재를 만들게 된다. 이때 압입소재의 옆면은 알루미늄 산화막이 제거된 순수 금속 표면 상태이다. 그리고 압입소재는 펀치의 압력에 의해 하부에 있는 중첩된 알루미늄 판재소재에 압력을 가하기 시작하고 두 알루미늄 판재사이에 강한 전단응력의 발생에 의한 소성유동이 발생하게 된다. Fig. 2의 (c)는 접합후의 형상을 보여주고 있다. 압출점접합이 끝나고 나면 불필요한 압출된 스크랩(scrap)가 발생하게 되는데 Fig. 2의 (d)와 같이 다이를 교차시킴으로 제거가 가능하다[7].



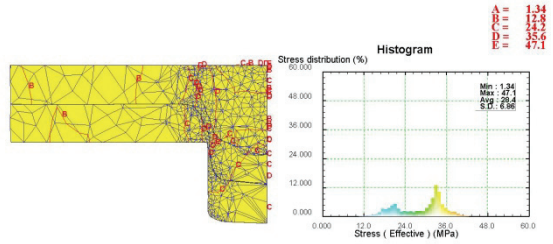
(a) Diameter :  $\varnothing 3.4\text{mm}$



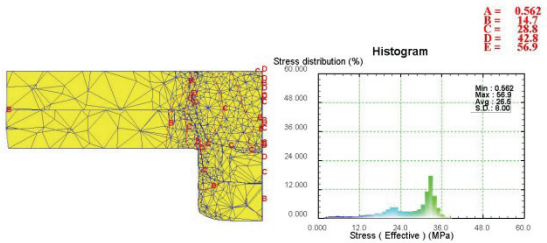
(b) Diameter :  $\varnothing 3.8\text{mm}$



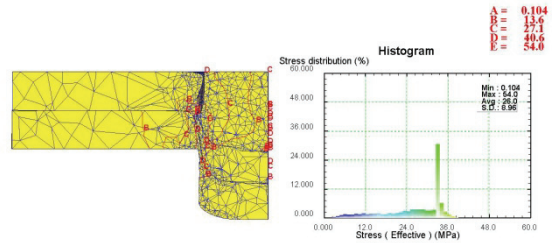
(c) Diameter :  $\varnothing 4.2\text{mm}$



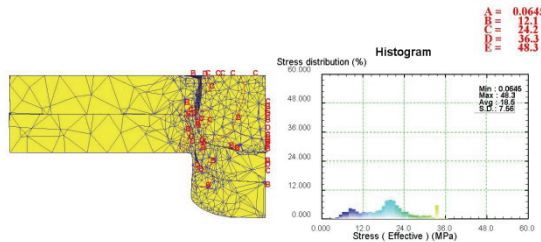
(d) Diameter :  $\varnothing 4.6\text{mm}$



(e) Diameter :  $\varnothing 5.0\text{mm}$



(f) Diameter :  $\varnothing 5.4\text{mm}$



(g) Diameter :  $\varnothing 5.8\text{mm}$

Fig. 3 Analysis of hot extru-riveting process with various hole diameters

2.2 알루미늄판재의 압출점접합공정해석  
 압출다이의 직경에 따른 접합부의 접합 강도와 단면형상을 비교 해 보기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

사용된 프로그램은 소성가공 해석용으로 많이 사용되는 DEFORM-3D 소프트웨어를 사용하여 점접합공정중의 응력해석을 수행 하였다.

Table 1 은 해석에서 사용된 조건이다. 소재의 온

도는 520°C의 정적 상태로 지정해 주었는데 이는 K. K. Lee[8] 등의 연구에서 알루미늄 소재의 적정 압출점접합 온도가 520°C임을 볼 때 이 온도를 적용하였다.

Fig. 3은 Fig. 2의 (c)와 같이 접합이 끝난 시점에서의 응력해석과 전체 응력 분포를 나타내고 있다. 접합부주위의 응력분포를 등고선 분포로 나타내었고 일정이상의 응력의 분포도는 스펙트럼 분석

**Table 1 The analysis condition for DEFORM-3D**

Mesh	15,000
Material	Aluminum 5052
Extrusion Speed	0.3 mm/sec
Relative Velocity	0.3 ~ 0.4 mm/sec
Friction Constant	0.8
Iteration Method	Newton-Raphson
Solver	Sparse
Temperature	520℃

**Table 2 Results of simulation analysis**

Punch diameter (mm)	Die diameter (mm)	Average stress (MPa)
ø5.0	ø3.4	29.1
	ø3.8	31.1
	ø4.2	33.1
	ø4.6	28.4
	ø5.0	26.5
	ø5.4	26.0
	ø5.8	18.5

을 통해서 접합부주위의 응력상태를 조사하였다.

분포도에 표기된 평균 응력은 각각의 응력과 그 응력이 차지하는 비율의 연관성을 고려하여 계산 되어진 평균 값이다. 이 값은 그림과 스펙트럼을 연계해서 비교해 본다면 접합 면에서의 응력이라 보아도 무방함을 알 수 있다.

Table 2의 표에서 압출다이의 각 직경에 따른 평균 분포 응력을 비교해보면 압출다이의 직경이 ø4.2mm일 때를 중심으로 멀어짐에 따라 접합부의 응력이 작아짐을 알 수 있다. 그 이유는 압입소재의 형상 변화와 압출압력이 큰 영향을 주는 것으로 파악된다. Fig. 3에서 ø4.2mm보다 작은 직경을 가지는 (a),(b)는 압입소재가 매우 뾰족하다는 것을 알 수 있다. 압입소재가 뾰족해 짐에 따라 접합소재를 쉽게 파고 들 수 있게 되고 결과적으로 응력이 점차 감소하게 된다. 반대로 ø4.2mm보다 큰 직경을 가지는 (d), (e), (f), (g)의 경우에는 압출다이의 직경이 커짐에 따라 압입소재에 걸리는 압력이 낮아지게 됨으로 응력 또한 감소한다. 덧붙여 (f)와 (g)의 경우는 접합면적이 한쪽으로 치우쳐 실제로 접합소재의 반 정도를 금속학적으로 접합하고 나머지 부분은 소재 변형에 의한 기계적

결합이 이루어 졌음을 Fig. 3을 통해 알 수 있다. 결과적으로 해석을 통하여 압출 점접합이 잘 이루어지는 적정 압출 다이의 직경은 ø4.2mm임을 알 수 있다.

### 3. 알루미늄판재의 압출점접합 실험

#### 3.1 압출점접합 실험장치

실험은 최대 100ton의 성능을 가진 2단 유압프레스로 행해졌고, 유압프레스 내부에는 가열로(heating furnace)가 설치되어 있으며, 그 내부에 압출점접합금형이 들어갈 수 있는 공간에 금형을 장착하여 실험 하였다. Fig. 4는 압출점접합 실험에 사용되는 조립된 금형의 형상을 보여준다. 접합소재는 강도시험을 위하여 충분한 여유길이를 두고 중첩된 상태로 압출점접합실험을 행하였다.



**Fig. 4 Assembly die of extru-rileting welding process**



**Fig. 5 Insert die (hole diameter = ø5.8, ø5.4, ø5.0, ø4.6, ø4.2)**

압출점접합 강도에 영향을 주는 변수로서 압출다이홀의 직경으로 정하고 Fig. 5와 같이 5가지 직경의 다이를 제작하여 실험 하였다. 홀의 직경은 펀치의 직경과 같은 직경을 기준으로 위아래 0.4mm 차이로 제작하였다. 펀치의 직경보다 큰 홀의 직경은 실제로 접합강도에 큰 영향을 주지 못할 것으로 판단되지만 압출 효과와 드로잉 효과를 비교 하기 위해서 사용하였다.

#### 3.2 압출점접합 실험조건

실험에 사용된 접합 소재와 압입소재는 자동차의 도어(door)에 많이 사용되는 Al5052를 사용하였다. 실험에 사용된 알루미늄의 세부 특징은 Table 3과 같다.

**Table 3 Characteristics of aluminum 5052**

Hardness , Brinell	47
Tensile Strength	193 MPa
Modulus of Elasticity	70.3 GPa
Poissons Ratio	0.330
Melting Point	607.2 – 649 ℃
Aluminum	95.7 – 97.7 %

**Table 4 Experimental conditions**

Punch & Die Diameter (mm)		Temperature 520 (℃)		
Punch (mm)	Die (mm)	Number of experiments		
		Shear	Tensile	Total
ø5.0	ø 4.2	3	2	5
	ø 4.6	3	2	5
	ø 5.0	3	2	5
	ø 5.4	3	2	5
	ø 5.8	3	2	5



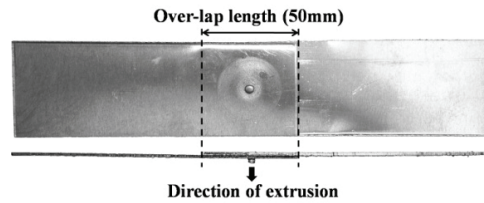
**Fig. 6 Aluminum plates for experiment**

알루미늄 판재소재 압출 점접합실험은 해석결과를 참고하여 Table 4와 같이 520℃의 같은 온도 조건에서 압출다이의 직경을 변화 시키면서 각각 5번에 걸쳐서 실험을 행하였다.

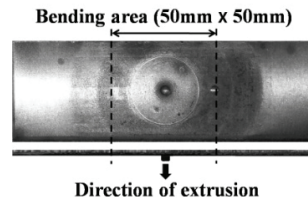
한국 표준 KS B 0851과 KS B 0852를 참고하여 전단 시험과 U자 인장시험을 수행하였고, 소재의 크기는 표준 인장 시험편 제작을 고려하여 Fig. 6과 같이 제작하였다.

### 3.3 압출점접합 실험결과

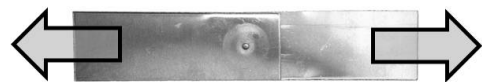
Fig. 7과 Fig. 8은 압출점접합 금형을 이용하여 두장의 알루미늄 판재를 압출점접합한 후의 결과물을 보여주고 있다.



**Fig. 7 Extrusion-welded aluminum plates for shearing test**



**Fig. 8 Extrusion-welded aluminum plates for tensile test**



**Fig. 9 Shearing strength test piece**

**Table 5 Results of shearing test**

Punch diameter (mm)	Die diameter (mm)	Shearing load (kN)
ø5.0	ø4.2	3.10
	ø4.6	2.97
	ø5.0	2.32
	ø5.4	2.02
	ø5.8	1.67

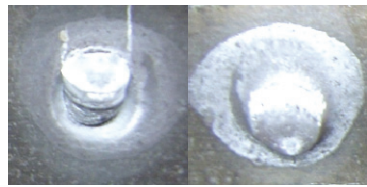
## 4. 알루미늄판재의 접합강도 평가

### 4.1 알루미늄판재의 전단강도

접합부 전단강도 시험을 위하여 판재의 접합강도특성을 측정하는 전단 테스트와 U자 인장테스트를 시행 하였다. Fig. 9는 전단테스트 시험편이다.

Table 5는 전단테스트 결과 값이다. 전단 테스트 결과 다이직경이 Ø4.2mm일 때 압출점접합된 접합 시험편의 평균전단하중이 가장 높은 결과가 나왔다.

다이 직경이 Ø4.2mm일 때 접합강도가 가장 높게 나온 이유는 접합부 응력의 차이가 큰 영향을



(a) Diameter :  $\varnothing 4.2\text{mm}$



(b) Diameter :  $\varnothing 4.6\text{mm}$



(c) Diameter :  $\varnothing 5.0\text{mm}$



(d) Diameter :  $\varnothing 5.4\text{mm}$

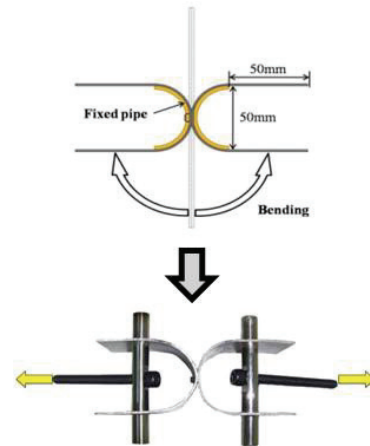


(e) Diameter :  $\varnothing 5.8\text{mm}$

**Fig.10 Shape of extru-welded zone with various hole diameters ( $T=520^{\circ}\text{C}$ )**

주었을 것으로 판단된다.

Fig. 10은 압출점접합된 소재가 전단테스트 되어진 후의 접합부 단면 형상을 나타낸다. Fig. 10에서 스크랩부의 접합 흔적을 관찰해보면 압출 다이 구멍의 직경이 작아짐에 따라 압입소재의 원주 방향으로의 접합흔적이 선명하고 그 면적이 넓어



**Fig.11 Tensile strength test piece**

**Table 6 Results of tensile test**

Punch diameter (mm)	Die diameter (mm)	Tensile load (kN)
$\varnothing 5.0$	$\varnothing 4.2$	3.71
	$\varnothing 4.6$	3.58
	$\varnothing 5.0$	1.61
	$\varnothing 5.4$	1.32
	$\varnothing 5.8$	1.17

짐을 알 수 있다. (d), (e)의 경우 접합판재와 삽입된 소재가 금속학적 결합보다는 기계적으로 결합되어 있음을 알 수 있다. 실질적으로 접합 공정도중 소재와 소재 사이의 소성유동에 의한 접합보다는 그림과 같이 형상 변화에 의한 기계적 결합에 가깝다고 볼 수 있다. 반면 (a), (b), (c)는 판재의 두께 1.5mm에 걸쳐서 금속학적인 접합흔적이 발생하였고, 그 중에서도 (a)의 경우 삽입된 소재가 판재의 하단부까지 압출과 동시에 옆면으로 소성유동적으로 접합된 형상을 나타낸다.

#### 4.2 알루미늄판재의 인장강도

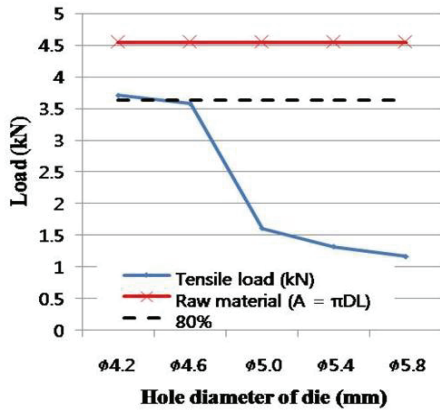
Fig. 11은 U자 인장테스트 시험편의 형상을 나타내며 KS규격에 맞게 인장 시험을 하기 위하여 인장시험 지그(jig)를 제작하여 인장테스트를 시행하였다.

Table 6 과 같이 인장 테스트 결과도 전단 테스트와 같은 양상으로 다이직경이  $\varnothing 4.2\text{mm}$  일 때 압출점접합된 접합시험편의 평균접합강도가 가장 크게 됨을 알 수 있었다.

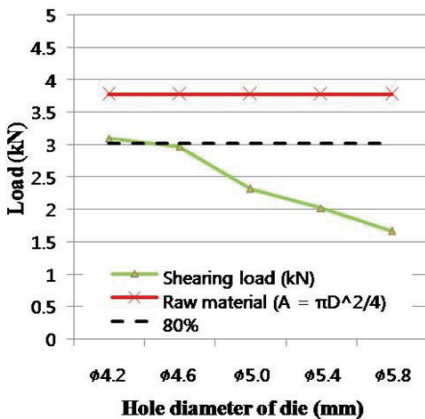


(a) Type one (b) Type two  
 Fig.12 Kinds of tensile fracture (T=520 °C)

Dimension of raw material  $D = 5\text{mm}$ ,  $L = 1.5\text{mm}$



(a) Tensile test



(b) Shearing test

Fig.13 Maximum loads with different tests

Fig. 12 는 인장테스트 후의 대표적인 두가지 파괴 형상이며 인서트 다이의 직경  $\phi 5.0\text{mm}$ ,  $\phi 5.4\text{mm}$ ,

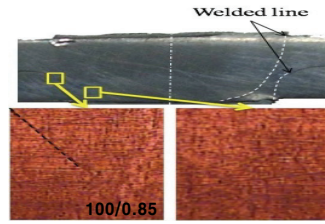


Fig.14 Sectional shape of extru-riveting welded aluminum plate

$\phi 5.8\text{mm}$ 의 파괴 형상에 해당하는 (a)는 두장의 접합 소재사이에 금속학적으로 접합이 되지 못하고 기계적으로 접합되어 있음을 알 수 있다. 반면에 인서트 다이 직경이  $\phi 4.2\text{mm}$ ,  $\phi 4.6\text{mm}$ 일때의 파괴 형상인 (b)는 금속학적인 접합흔적이 나타남을 알 수 있다.

접합부의 접합흔적을 비교 분석해본 결과 (b)가 (a)보다 접합이 되어있던 흔적 즉 금속학적으로 접합되어 있음을 알 수 있었으며, 컴퓨터 시뮬레이션 해석에서  $\phi 5.0\text{mm}$  이상의 직경에서 접합응력이 매우 작다는 것과 같은 이유이다.

Fig. 13 은 앞의 두 시험결과와 원소재를 비교한 그래프이다. 압출점접합은 점용접과 마찬가지로 접합부의 면적을 구하는 것이 매우 어렵다. 그래서 접합 면적을 접합에 의한 변형이 생기기 전의 압입소재 단면적으로 가정하고, 각각의 힘을 받는 해당 단면적으로 원소재의 인장 하중과 전단하중을 계산하여 사용 하였다.

두 가지의 강도 테스트를 통해 나온 결과를 보면 압출다이직경이  $\phi 4.2\text{mm}$  일때 접합강도가 가장 크게 나타나고 접합강도가 원소재의 80%이상임을 알 수 있다.

### 4.3 접합부상에서 접합선의 형상

Fig. 14 는 접합에 있어서 가장 좋은 결과를 보인 압출점접합 금형의 다이직경  $\phi 4.2\text{mm}$  일때의 접합단면이다. 접합 압력을 받아서 두 소재의 접촉면을 기준으로 접합면 쪽으로 접합선이 붙어 들어가는 것을 볼 수 있다. 두 판재의 접촉면인 파팅(parting)선을 제외하고는 접합면을 따라 잘 붙어 들어가는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문은 기존의 용융법인 점용접(spot welding) 시에 발생하는 문제점을 극복하기 위하여 고상접합의 일종인 압출점접합(extru-riveting)의 접합법에 대

한 접합강도를 개선하고자 접합변수인 압출다이직경의 크기에 따른 점접합강도의 특징에 대하여 성형해석과 실험을 통하여 다음의 결과를 유도하였다.

(1) 압출점접합금형을 이용한 점접합방법은 접합에 방해가 되는 알루미늄 산화막이 생기지 않도록 소재판에서부터 압입소재를 편칭하여 접합면이 순수한 압입소재로 만든 다음 중첩된 판재에 바로 압입압출하도록 하여 순수한 상태의 고상접합을 통하여 압출점접합이 가능하도록 하였다.

(2) 컴퓨터 응력해석을 통하여 편치직경과 같은 압입소재의 직경이 5mm 이고 온도가 520℃ 일 때 압출직경의 크기에 따라 접합강도에 있어서 차이가 나며 압출다이의 압출직경이 작을 수록 압출점접합강도가 크게 되었으나 그 한계치가 있음을 알 수 있었다.

(3) 실험을 통하여 접합하고자 하는 판재의 두께가 1.5mm 인 두 장의 알루미늄판재를 중첩하여 압출점접합하고자 할 때 압입소재의 크기를 직경 5mm, 두께 3mm 로 할 경우 압출다이의 직경이 Ø4.2mm 인 경우에 접합응력이 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.

따라서 알루미늄 판재의 점접합의 경우 기존의 점접합 방법인 마찰교반접합, 스폿웰딩, 셀프피어싱, 리벳팅과는 다른 점접합방법인 압출점접합방법을 이용할 때 원소재에 대한 80%이상의 강도를 얻을 수 있는 접합 변수를 적용함으로써 경량화 소재의 점접합에 압출점접합방법의 응용이 기대된다.

## 후 기

이 연구는 한국연구재단의 광역경제권 선도사업 인재양성사업과 (주)성우하이텍의 지원하에 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. K. Lee, I. T. Jin, 2008, A Study of Extrusion-Pressure Welding Strength of Aluminum Rods, Trans. Mater. Process., Vol. 17, No. 4, pp. 284~291.
- [2] K. K. Lee, I. T. Jin, 2008, A Study on Hot Extrusion-welding Dies of Aluminum Rods, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf. June 24, pp. 27~30.
- [3] D. B. Yum, J. B. Ko, B. K. Choi, S. G. Lee, A. K. Kim, 2002, Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminum Alloy 5000 Series, Trans. Kor. Soc. Mach. Tool Eng., Vol. 11, No. 3, pp. 8~13.
- [4] Wayne Cai, P. C. Wang, Wu Yang, 2005, Assembly Dimensional Prediction for Self-Piercing Riveted Aluminum Panels, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 45, No. 6, pp. 695~704.
- [5] Mitsuo Fujimoto, Shinji Koga, Natsumi Abe, S. Yutaka Sato, Hiroyuki Kokawa, 2009, Analysis of Plastic Flow of The Al Alloy Joint Produced by Friction Stir Spot Welding, Weld. Int., Vol. 23, No. 8, pp. 589~596.
- [6] J. Y. Kim, C. J. Lee, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim, 2009, Effect of Shape Parameters of Tool on Improvement of Joining Strength in Clinching, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 5, pp. 392~400.
- [7] I. T. Jin, 2007, Extrusion Bonding Apparatus and Method of Metal Plates by Plasticity Flow, Kor. Patent., 10-0743857.
- [8] K. K. Lee, 2009, A Study on the Extrusion-welding Process of Aluminum Rods and Plates, Department of Mechanical Engineering, Ph. D. Thesis, The graduate School, Pukyong National University.