

알루미늄 판재의 전기저항가열 압출점접합공정에 있어서 핀의 높이가 접합강도에 미치는 영향에 관한 연구

이성준¹ · 김태현¹ · 진인태[#]

A Study on the Effect of Pin Height on Weld Strength in Extrusion-Rivet Spot Welding of Aluminum Plates

S. J. Lee, T. H. Kim, I. T. Jin

(Received February 14, 2014 / Revised July 2, 2014 / Accepted July 10, 2014)

Abstract

It is difficult to control welding variables during spot welding of non-ferrous metals like aluminum because of the low electrical resistance of the material. It has been suggested that a solid state welding process such as friction stir spot welding or extrusion-spot welding can be used to spot weld aluminum plates. In the extrusion-spot welding, there is a need to increase the weld strength by improving the shape of the welding die. The current study shows that the weld strength for an extrusion-spot welding can be increased by using a pin placed on the inside of the upper electrode in the welding die. In the current study, the deformed shape of the insert rivet and the stress distribution in the welding zone were analyzed by simulation. Extrusion-rivet spot welding experiments were performed by changing the height of pin on the inside of the upper electrode. From the experimental result, it is shown that the weld strength for an extrusion-rivet spot welding can be increased by adjusting the height of the pin. The optimal shape of the deformed rivet after the extrusion-rivet spot welding can be observed from the simulation results. The deformed shape of the insert rivet can also be controlled by the height of pin.

Key Words : Spot Welding, Extrusion-Rivet, Electrode, Electric Resistance, Solid State Welding, Aluminum Plates

1. 서론

최근 자동차의 경량화로 알루미늄 사용이 증가되고 있지만 기존의 강철판에 비해 알루미늄판재의 점용접(spot welding)성이 떨어지는 이유로 기존의 점용접 방법의 장점을 활용하고 단점을 적절히 보완하는 새로운 접합방법에 대한 연구가 필요한 시점이다.

일반적으로 얇은 두께를 가지는 두 장의 판재를 점접합하는 방법중에 기계적인 결합방법으로 리벳팅(riveting) 공정이 있고, 접촉면의 전기저항에 의한

열과 압력을 이용하여 접합부를 용융접합 하는 점용접(spot welding)이 있다. 그리고 공구 회전에 의한 마찰열과 공구의 회전력을 이용하여 고상접합 하는 마찰교반점용접(friction stir spot welding)이 있다[1~3].

리벳에 의한 접합은 리벳의 선행제조와 접합부의 편칭 및 헤딩공정으로 구성되어 있기 때문에 다소 복잡한 공정을 가지고 있다. 따라서 리벳부의 편칭 공정과 헤딩공정을 하나로 결합한 셀프피어싱 리벳팅(self-piercing riveting)이 사용되어지고 있으나 특수한 형태의 리벳을 제조하는 공정이 선행되어야하는 단점을 가지고 있다[4].

1. 부경대학교 기계공학과 대학원
Corresponding Author : Pukyong National University Mechanical Engineering, E-mail: jint@pknu.ac.kr

용융점용접의 경우 접합시간이 매우 짧고, 자동화가 쉬운 접합방법이지만 고전류에 의한 스파터(splatter)발생으로 인한 환경적인 문제와 용접강도에 한계가 있다. 그리고 마찰교반점접합은 공구수명이 매우 길고, 접합 공정이 단순하며 접합을 위한 부자재가 필요 없다는 장점을 가지고 있으나 용접장비가 비싸고 용접후의 용접면상에 구멍이 남는다는 단점이 있다.

본 논문은 앞서 설명한 비철금속의 점용접과 관련된 문제점을 극복하기 위하여 고상접합을 기반으로 제안된 압출점접합공정(extru-rieving process)[5,6]을 자동화한 참고문헌[7]의 전기저항가열 압출점접합(extru-riev spot welding)방법에서 접합부 상부가열 전극홀에 핀을 추가하여 홀의 출구면적을 줄이는 방법으로 압출로 발생하는 응력을 크게 하여 부족한 접합강도를 개선하고자 하였다. 따라서 접합강도를 향상시키기 위한 핀의 영향에 대해서 해석과 실험을 통한 연구가 필요하다.

2. 전기저항가열 압출점접합공정

2.1 전기저항 압출점접합의 금형구조

Fig. 1은 전기저항가열 압출점접합 금형의 구조를 나타내는 3D 모델링으로 위에서부터 상부가열전극과 접합할 두 장의 알루미늄판재, 블랭킹다이, 압입소재(insert rivet)가 될 한 장의 알루미늄 판재, 하부가열 전극 및 압출핀치로 구성되어 있다.

Fig. 2는 Fig.1의 접합부 단면도로서 상부전극의 홀에 핀을 추가한 전기저항가열 압출점접합 금형의 단면도를 나타내고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 상부가열전극의 홀에 핀이 삽입되어 있어 압출점접합시 압입소재와 접합부상의 금속이 상부의 출구단면으로 압출될 때 높은 압출력을 유도하여 접합강도를 향상시킨 것이 특징이다.

이때 삽입된 핀이 상부가열전극과 나사로 체결되어 있어 핀의 머리부분을 회전하게 되면 압출 방향으로 상하로 움직일 수 있어 실험에 있어서 핀의 높이변수에 따른 접합강도의 변화를 알 수 있도록 설계되어 있다.

2.2 전기저항 압출점접합의 접합공정

Fig. 3의 그림과 같이 상부가열전극에 핀이 삽입

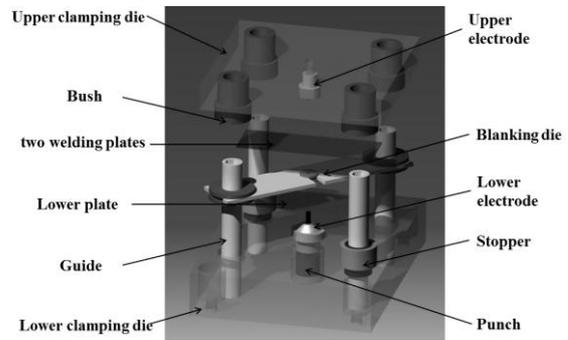


Fig. 1 Extru-riev spot welding dies assembly

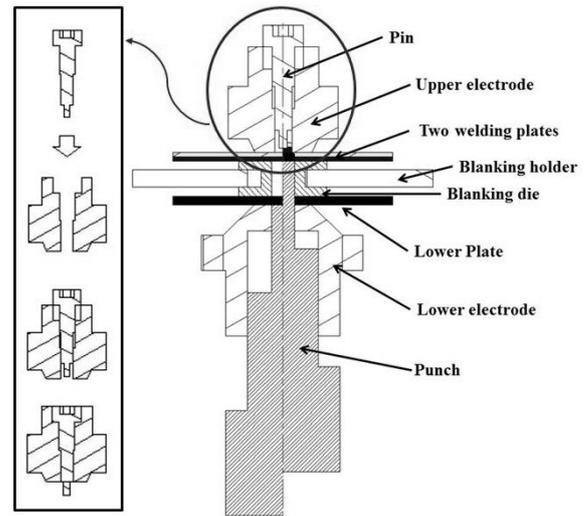


Fig. 2 Extru-riev spot welding process

된 전기저항가열 압출점접합을 간단히 소개하면 다음과 같다. Fig. 3의 (a)는 상하부의 두 가열전극에 전류를 통전할 때 발생하는 전기저항에 의한 발열을 이용하여 접합하고자 하는 두 장의 상부 알루미늄 판재와 한 장의 하부 알루미늄 판재를 가열하는 단계이다.

이어서 압출핀치의 상승에 따라 하부 알루미늄 판재가 블랭킹금형에 의해 블랭킹되어 Fig. 3의 (b)와 같은 형상을 가지는 압입소재를 만들게 된다. 이때 압입소재의 옆면은 알루미늄 산화막이 제거된 순수금속표면 상태이다.

Fig. 3의 (c)는 압입소재가 핀치의 이동에 의해 상부에 있는 중첩된 알루미늄 접합판재에 압력을 가하기 시작하고 상부가열전극의 출구단면의 직경이 압입소재의 직경보다 작기 때문에 두 장의 알루미늄 판재 사이에 강한 압출응력이 발생한다. 또한 압입소재와

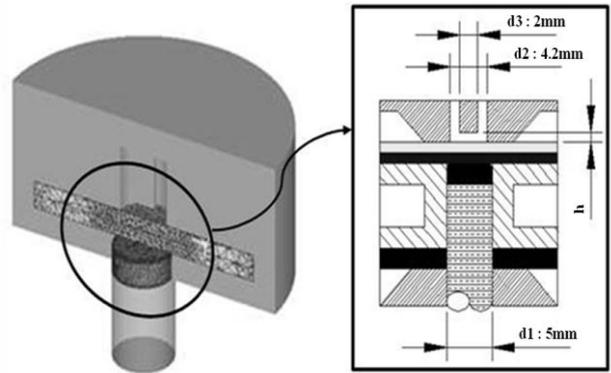
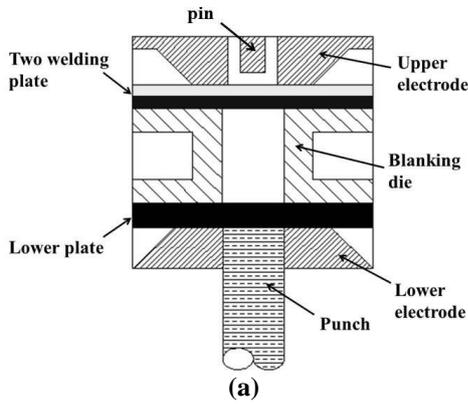
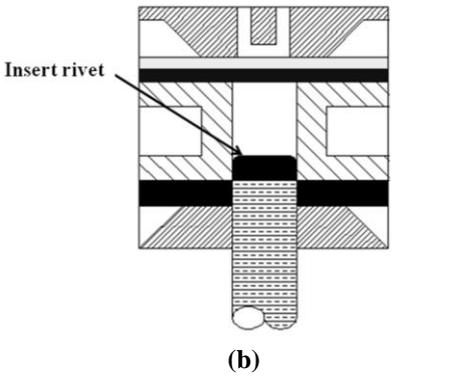
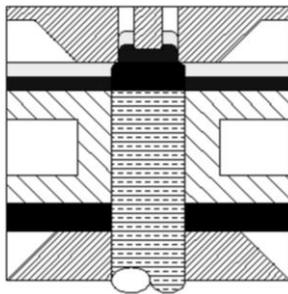


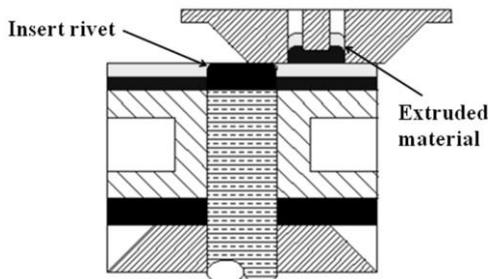
Fig. 4 The analysis region of simulation



(b)



(c)



(d)

Fig. 3 Extru-rijet spot welding process steps; (a) pressing and heating step, (b) blanking step, (c) welding step, (d) extruded material removal step

Table 1 Comparison of measured roughness data

Material temperature	520 °C
Material	Aluminum 5052
Mesh	Number of Elements 20000 Max Element Size 0.8mm Min Element Size 0.4mm Mesh Window Elements Size 0.2mm
Solver	Sparse
Iteration method	Newton-Raphson
Punch stroke	2mm (speed : 0.3mm/sec)

알루미늄판재 접합부의 금속이 압출될 때 삽입된 핀에 의해 과잉금속에 압출방향과 반대되는 저항압력이 추가로 발생하여 접합부에 추가 압력을 가한다. 이렇게 발생한 높은 압력과 전기저항에 의한 열에 의해서 접합부에 소성유동이 발생하고 소성유동에 의한 한 개의 압입소재와 두 장의 접합판재가 접합되면서 압출점접합이 완성된다. 압출점접합이 끝나고 나면 압출된 불필요한 과잉금속(extruded material)을 접합면으로부터 단락되도록 Fig. 3의 (d)와 같이 상부가열전극을 슬라이딩 시켜 제거되도록 하였다.

3. 삽입핀의 높이에 따른 접합부 소성유동 형상 및 접합면응력 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

압출점접합을 할 때 발생하는 소재의 소성유동 및 응력을 알아보기 위하여 DEFORM-3D소프트웨어를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행 하였다. Fig. 4와 같이 중첩된 알루미늄판재의 상부표면과 삽입된

핀의 선단면사이의 거리인 높이 h 값을 0mm, 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm로 변형 시켜서 접합부의 소성유동형상과 접합면에서의 응력을 조사하였다.

해석조건은 Table 1과 같이 사용하였으며 응력해석은 K. K. Lee[8] 등의 연구에서 알루미늄 소재의 고상용접의 적정온도가 520℃임을 참고로하여 이 온도를 해석에 적용하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 5는 Fig. 4에서의 직경 d_1 가 5mm인 블랭킹 다이로부터 생성되는 5mm의 압입소재가 두 장의 알루미늄판재에 압입된 소성유동형상을 나타내고 있다.

압출점접합후 압출된 과잉금속의 제거를 위해서 압입소재의 형상이 원형판의 형상을 유지하고 그 상부표면이 접합할 판재의 표면과 일치되는 평면을 유지하면서 압입되는 것이 바람직하다.

따라서 핀의 높이 h 가 0.5mm일 때의 소성유동형상을 살펴보면 그림 (c)의 압입소재의 상부표면이 비교적 평면을 유지하면서 접합되어 있는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이 때의 압입소재의 형상이 원형판이므로 단면형상이 직사각형에 가까워지는 것을 살펴볼 때 핀의 높이 h 가 0.5mm 때가 가장 이상적인 단면의 형태를 보여주고 있다.

이와는 달리 그림 (b)의 경우에는 삽입핀의 높이 h 가 0mm일 때 압입소재가 상부가열전극과 핀사이의 공간으로 압출됨으로써 원통형의 단면을 보여주고 있기 때문에 바람직하지 못하다. 또한 반대로 삽입핀이 없는 경우의 소성유동형상을 살펴보면 그림 (g)의 소성유동처럼 압입소재의 단면이 원추형으로 압입되어 그 상부 표면이 접합판재의 표면보다 돌출되어 과잉금속의 제거 공정 당시에 간섭을 받을 수 있는 형상임을 확인할 수 있다.

그림 Fig. 6과 같이 접합면에서의 응력에 대한 시뮬레이션은 접합에 있어서 접합강도에 중요하게 작용하는 압입소재와 두 장의 알루미늄 금속판재와의 경계면에서의 응력분포를 조사하였다. 접합단면의 응력분포를 살펴보면 압입소재와 상부전극에 위치한 홀의 직경차이에 따른 압출력으로 인한 경계면에서의 응력이 집중됨과 동시에 상부전극의 홀에 삽입된 핀의 영향으로 접합할 알루미늄 상부판재와 삽입된 핀의 접촉부분에 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있다. 상부 판재와 하부판재의 응력이 집중된

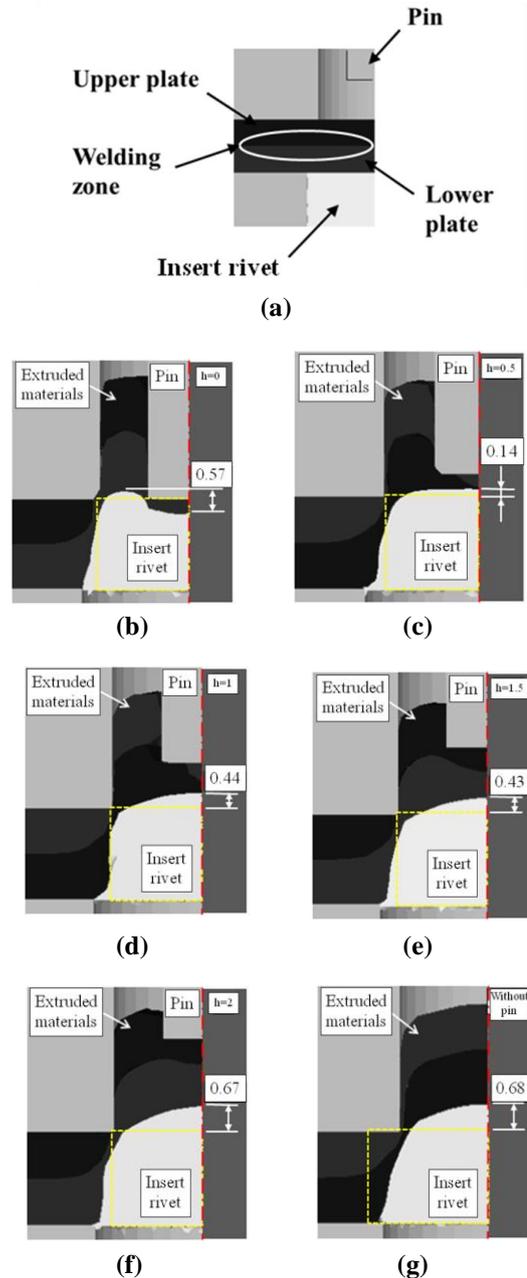


Fig. 5 Plasticity flow shape of insert rivet; (a) section of welding zone, (b) the height of the pin : $h=0$ mm, (c) $h=0.5$ mm, (d) $h=1$ mm, (e) $h=1.5$ mm, (f) $h=2$ mm, (g) without pin

주요 접합선(welding line)에서 각각 다섯 점의 응력을 측정하여 평균을 내본 결과 Fig. 7과 같은 그래프를 얻을 수 있었으며, h 가 작을수록 알루미늄금속판의 접합 경계면에서 받는 응력의 평균치가 커짐을 알 수 있었다.

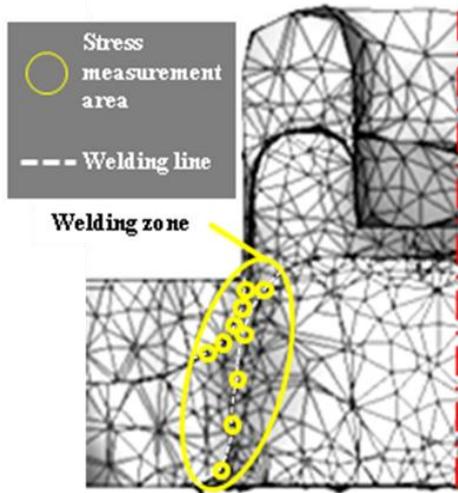


Fig. 6 Welding line and measurement area at welding zone

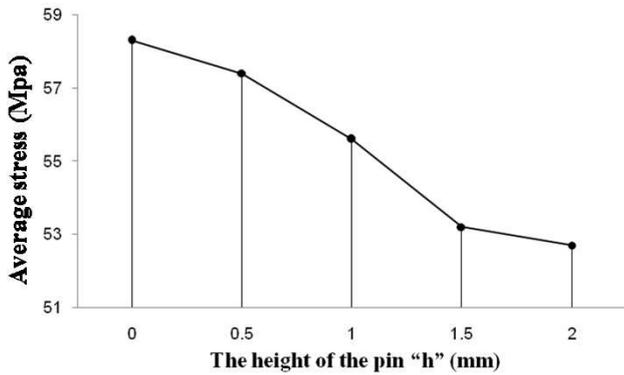


Fig. 7 Results of simulation(average stress at welding line)

4. 전기저항가열 압출점접합 실험

4.1 실험장치 및 조건

압출점접합 실험장치로는 Fig. 8 (a)의 압출점접합 금형을 Fig. 8 (b)의 용접기 프레임부분에 부착시켜 사용하였다. Fig. 8의 (c)는 프로젝션 용접기의 용접부 프레임에 압출점접합금형을 부착하여 완성된 전기저항가열 압출점접합 실험장치를 보여주고 있다.

Fig. 9는 실험에 사용된 알루미늄5052의 접합판재 치수를 나타내고 있으며 재질의 성분요소는 Table 2와 같고 기계적인 물성치는 Table 3과 같다. 압입소재로 사용된 판재는 접합판재와 동일한 물성치와 치수를 가지는 알루미늄5052 합금을 사용하였고 두께는 접합 하고자 하는 알루미늄판재의 두 배가 되도록 하였다.

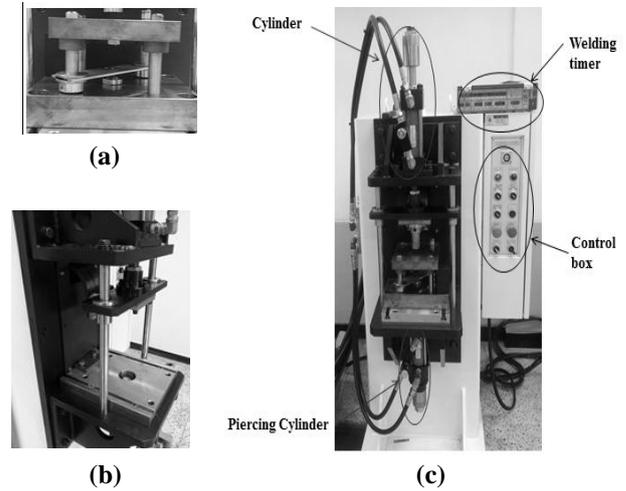


Fig. 8 Extrusion-spot welding machine; (a) welding die, (b) welding frame, (c) projection welding machine

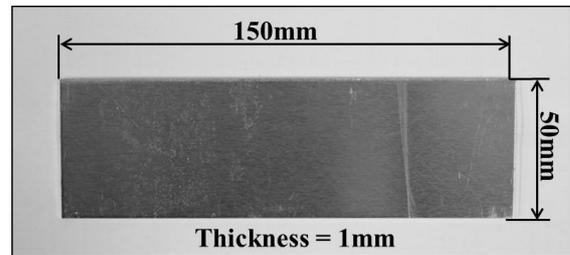


Fig. 9 Dimension of specimen

Table 2 Chemical composition of aluminum5052

Component (%)	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	other
	95.65	0.3	0.1	0.4	2.6	0.8	0.15

Table 3 Mechanical properties of aluminum5052

Tensile strength (Ultimate)	193 Mpa
Tensile strength (Yield)	89.6 Mpa
Modulus of elasticity	70.3 Gpa
Melting point	607.2 ~ 649°C
Annealing temperature	343°C

4.2 용접강도 측정방법

압출점접합의 용접강도를 측정하기 위하여 정적 인장단시험 방법 KS B 0851에 따라 Fig. 10과 같이 전기저항가열 압출점접합된 시편을 만들고 인장시험기를 사용하여 인장하중을 측정하였다.

Fig. 11의 (a)는 Fig. 10과 같이 KS B 0815의 규격에

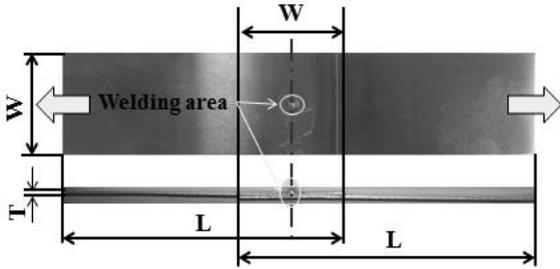


Fig.10 Tensile shear test of spot welding joints(KS B 0851)

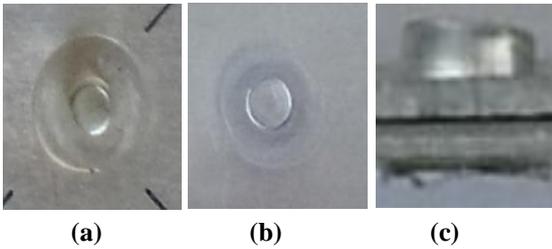


Fig.11 Extru-rivet spot welded aluminum plate(h=0.5mm); (a) top view, (b) bottom view (c) side view

따라 제작한 시편을 상부가열전극의 직경이 12mm, 전류세기를 37kA, 통전시간을 90cycle의 조건에서 전기저항가열 압출점접합후의 시험편의 상부를 나타내고 (b)는 시험편의 하부를 나타내고 있으며 두 그림을 통해 압입소재가 두 장의 알루미늄판재에 압입된 것을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 11의 (c)를 통해 과잉금속이 형성된 것을 육안으로 확인할 수 있다.

4.3 용접강도 측정결과

Table 4는 핀의 높이에 따른 전기저항가열 압출점접합의 접합성능을 평가한 인장전단 시험결과이다. 시뮬레이션의 결과로 인해서는 h가 0mm에서 접촉면에 적용하는 압력이 가장 컸으나 실험결과는 압입소재 원형판의 단면형상이 가장 이상적인 사각형 단면을 유지하는 핀의 높이 h가 0.5mm일 때 가장 큰 인장하중을 걸리는 것을 확인할 수 있었다.

$$P_s = 2.6 \times t \times d \times R_m \quad (1)$$

t : Thickness of test specimen (mm)
 d : Nugget diameter (mm)
 R_m : Ultimate Tensile Strength of aluminum alloy at standard condition (MPa)

Table 4 Data of ultimate tensile load

h (mm)	Ultimate tensile load (N)
0	3461
0.5	3666
1	3368
1.5	2461
2	2430
Without pin	1900

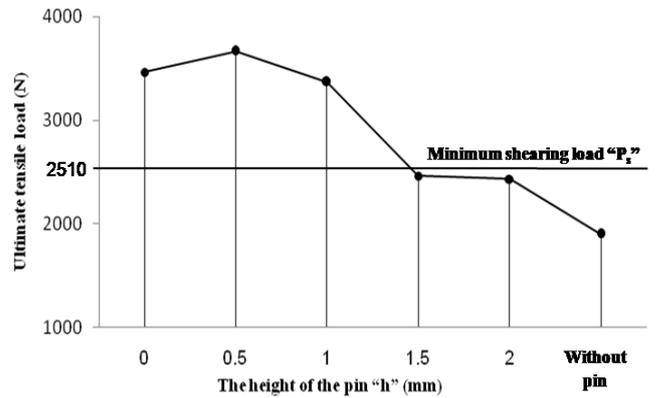


Fig.12 Results of shearing load related to distance of pin

그리고 식(1)은 KS B ISO 18595 규격에서 권장하고 있는 점용접된 알루미늄 판재의 주어진 용접부 크기에서 최소 전단력 P_s 를 구하는데 필요한 식이며 이 식에 따라 2.51kN의 최소 접합하중을 요구하고 있다.

Fig. 12 에서 앞에서 설명한 KS B ISO 18595 규격에서 권장하고 있는 용접된 알루미늄 판재의 용접 전단강도와 전기저항가열 압출점접합된 시험편의 최대인장전단하중을 비교해 보았다.

그래프에서 확인 할 수 있듯이 핀의 높이 h 가 0.5mm 일 때 접합 강도 3666N 으로 규격에서 요구하는 평균용접강도를 만족하고 그 때의 접합강도가 제일 큰 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서 전기저항가열을 이용한 압출점접합에서의 인장강도 개선을 위해 상부가열전극에 핀을 추가하여 압출점접합한 시편에 대한 시뮬레이션과 인장실험을 통하여 다음의 결과를 도출하였다.

(1) 압출점접합에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인한 소성유동형상을 살펴보면 압출편치직경d1이

5mm이고 상부가열전극의 직경 d_2 가 4.2mm, 핀의 직경 d_3 가 2mm로 고정된 경우, 상부가열전극에 삽입된 핀의 높이 h 가 0.5mm일 때 압입소재의 상부표면이 평면으로 압입되면서 상부표면이 접합판재와 거의 일치하는 형상을 나타내고 있다.

(2) 두께가 1mm인 두 장의 알루미늄 판재를 중첩하여 압출점접합할 때 상부가열전극의 외부직경을 12mm로하고 전류의 세기를 37kA, 통전시간을 90cycle로 고정한 상태에서 핀높이 h 에 따라 점접합 후 인장강도의 측정값은 삽입 핀의 높이 h 가 0.5mm, 일 때 접합강도가 제일 크게 나왔으며 통상의 KS규격에서 정하는 점접합강도를 만족함을 알 수 있었다.

(3) 상부가열전극의 홀에 삽입된 핀의 효과로 인하여 중첩된 알루미늄 판재의 압출점접합시 소성유동으로 인한 압입소재의 상부표면이 접합표면과 거의 일치함을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었으며 압출점접합후 인장시험을 통하여 점용접강도를 핀이 없는 경우의 점용접강도보다 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구입니다(C-D-2013-0412).

REFERENCES

- [1] D. B. Kim, M. Y. Lee, B. J. Park, J. K. Park, H. Y. Cho, 2012, Forging Process Design of Self-Piercing Rivet for Joining dissimilar Sheet Metals, J. Kor. Soc. Marine. Eng. Vol. 36, No. 6, pp. 802~807.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] W. Cai, P. C. Wang, W. Yang, 2005, Assembly Dimensional Prediction for Self-Piercing Riveted Aluminum Panels, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 45, No. 6, pp. 695~704.
- [5] I. T. Jin, 2007, Extruvet Bonding Apparatus and Method of Metal Plate by Plasticity Flow, Kor. Patent No. 10-0743857.
- [6] J. H. Lee, T. H. Kim, M. Y. Lee, I. T. Jin, 2009, A Study on Welding Strength of Extrusion-Riveting Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 8, pp. 460~467.
- [7] S. J. Lee, I. T. Jin, 2013, A Study of Weld Strength of Extrusion-rivet Spot Welding using Electrodes Heated by Electric Resistance, Trans. Mater. Process., Vol. 22, No. 4, pp. 189~195.
- [8] K. K. Lee, 2009, Ph.D Thesis, The graduate School, Pukyung National University, Pusan.

[1] D. B. Kim, M. Y. Lee, B. J. Park, J. K. Park, H. Y. Cho,