

가열된 금형에 삽입된 구리전극에 의한 중첩된 알루미늄 합금판재의 드로잉성형 동시 점용접 특성

김태현¹ · 진인태[#]

Characteristics of Drawing and Concurrent Spot Welding of Overlapped Aluminum Plates with Copper Electrodes Inserted in Heated Dies

T. H. Kim, I. T. Jin

(Received May 2, 2017 / Revised May 18, 2017 / Accepted May 25, 2017)

Abstract

In this study, a new spot welding with electric resistance heated dies is suggested for the spot welding of non-ferrous metal plates for drawing and concurrent spot welding. This welding method involves two heating processes such as heating by conduction of electric resistance heated dies and heating by resistance between contacted surfaces of two plates by welding current induced to copper dies for the fusion of contacted metal. This welding process has welding variables such as current induced in heated and copper dies, the inner diameters of heated dies, and edge shape of the copper dies. Experimental conditions for each current should be established to get successful welding strength. The welding strength could reach to the desired value in industrial fields under the following conditions of contact diameters of heated dies in this case of overlapped aluminum5052 plates with 0.3-mm thickness: inner and outer diameters of 5.0 and 16mm, respectively; diameter of copper dies, 5.0mm; heating current, 6.8kA in heated steel dies; welding current, 8.6 kA in copper dies.

Key Words : Heated Dies, Copper Electrode, Aluminum Plates, Welding Strength, Spot Welding, Electric Resistance

1. 서 론

소성가공 공정에 있어서 소성유동을 향상시키기 위하여 피가공재에 열을 공급한 상태에서 성형하는 경우가 있다. 이러한 열의 공급을 지속적으로 유지하기 위하여 금형에 직접적으로 열을 가한 상태에서 금형과 피가공재 사이에 발생하는 열전도로 피가공재의 온도를 유지하는 방안으로 가열된 금형을 사용하기도 한다[1].

그리고 소성가공물이 되는 피가공재가 두 개 이상이고 각각 서로 다른 물성치를 가지는 경우 가열된 금형을 이용하여 두 개의 피가공재를 소성가공

과 동시에 용접하게 되면 특성이 우수한 복합재 소성가공물의 제작이 가능 하다[2].

가볍고 강도와 경도가 우수한 복합판재를 얻기 위한 방법으로 주로 표면개질(surface reforming)을 통한 방법이 사용될 수 있으며, 성질이 다른 금속판재의 소성유동용접을 통한 복합판재가공의 예를 들면 두 장의 금속판재를 순간적인 폭발압력을 가하여 면접합을 하는 폭발용접이 있고, 두 장의 판재를 동시에 압연함으로써 접합하는 방법이 있다[3~5].

그러나 면접합된 이중복합판재를 이용하여 최종 제품을 드로잉성형과 같은 소성가공을 하게 되면 접합된 두 판재의 물성치의 차이로 인하여 접합면

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

에서의 파단이 발생할 수 있어 상기 목적에 있어서 제한을 받을 수 있다.

따라서 두 장의 금속으로 이루어진 이중복합판재를 드로잉하기 위하여 접합되지 않은 두 장의 판재를 동시에 드로잉하고 최종적으로 접합표면전체를 접합하기보다는 부분적인 점용접을 이용하여 상기와 같은 기능을 가질 수 있는 제품이 제작가능한지에 대한 선행 검토할 필요가 있다.

검토를 위해서 드로잉금형에 구리전극을 삽입하여 가열전류에 의해 금형을 가열하여 드로잉을 증가시켜 성형한 다음 가열된 금형에 의하여 피가공재가 가열된 상태에서 용접전류에 의한 피가공재간의 접촉저항에 의해 점용접하게 함으로써 상기의 목적을 달성하고자 한다.

본 연구의 목적은 이러한 금형구조내에서 점용접의 용접강도의 문제를 해결하기 위하여 비철금속인 두 장의 알루미늄합금 판재를 전기저항으로 가열된 금형과 구리전극으로 점용접할 때 그 특성을 파악할 필요가 있다.

본 연구와 관련된 점용접방법으로써 압출점용접에 관한 연구와 마찰에 의한 점용접방법등이 소개되어 있다[6~10].

2. 전기저항으로 가열된 금형을 사용한 점용접의 개요

Fig. 1 은 두 장의 중첩된 금속판재를 가열된 금형으로써 드로잉(drawing)한 후 구리전극에 의하여 점용접(spot welding)할 수 있는 구조를 도시하고 있다.

전기저항을 이용하여 철강계 소재의 가열된 금형에 열을 공급한 상태에서 드로잉한 후 드로잉금형에 삽입된 구리전극에 용접전류를 인가함으로써 필요한 여러 부분을 동시에 점용접하는 새로운 성형 동시 점용접 가공방법을 제안하게 되었다.

드로잉과정중에 드로잉금형에 삽입된 구리전극과 드로잉펀치에 삽입된 구리전극이 일직선이 되기까지는 가열전류가 철계금속인 금형을 통하여 흐르면서 금형을 가열하게 한다.

이어서 드로잉공정이 완성되면서 드로잉금형과 펀치에 삽입된 구리전극이 상호 일치하는 순간 대용량의 용접전류가 구리전극을 통하여 흐르면서 두 장의 금속판재를 점용접하게 되는 것이 특징이다.

상기와 같이 드로잉금형에 삽입된 구리전극에 의

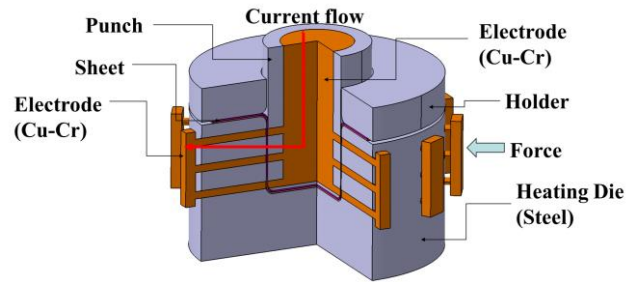


Fig. 1 Concept design of drawing and concurrent welding process by electric resistance heated steel dies and copper electrodes

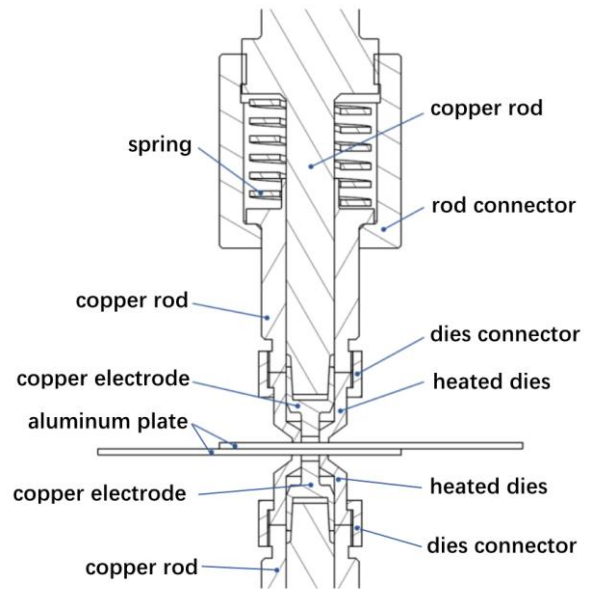


Fig. 2 Section view of heated dies and electrode [11]

한 점용접의 개념은 가열된 금형속에 삽입된 한 개의 원통형 가열된 금형과 그 속에 삽입된 한 개의 구리전극에 대한 보조가열전극이 부착된 점용접[11] 기술의 확대적용된 개념이다.

이러한 점용접장치가 판재성형 드로잉금형 표면에 수효대로 삽입되어 사용할 수 있는 것이 특징이다.

보조가열이 부착된 점용접 기술의 개념[11]에 대한 원리 및 구성에 대하여 소개하면 다음과 같다.

Fig. 2 는 원통형 철계 가열된 금형에 기존의 점용접시 사용되는 구리전극을 삽입하여 두 장의 중첩된 알루미늄합금판재를 점용접하는 기구 단면도이다.

일차적으로 가열된 금형(2)이 금속판재(1)와 먼저 접촉한 후 가열전류의 통전에 따른 전기저항열을 금속판재에 공급하도록 구리전극(3)의 선단보다 가

열된 금형(2)의 선단이 돌출되어 스프링으로 지지되어 있는 것이 특징이다.

이와 같이 하여 용접부가 가열된 금형에 의하여 우선 가열되고 난 다음 구리전극에 의해 점용접하는 구조로 구성되어 있다.

가열된 금형에 가열전류가 공급되면 금형이 발열하게 되고 가열된 금형에 접촉되어 있는 금속판재(1)에 전도열을 공급하여 용접부 접촉면에 열을 가하도록 되어 있다.

이어서 가열된 금형(2)의 압축에 따른 스프링의 압축으로 인하여 구리전극(3)의 선단이 금속판재에 접촉된 후 용접전류를 가하면 두 금속판재(1) 사이의 접촉저항에 의한 전기적인 발열로써 금속판재의 계면을 용융하여 점용접되도록 하는 것이 특징이다.

철계의 가열된 금형에 도전된 가열전류의 양과 가열된 금형과 알루미늄 금속판재와의 접촉면적의 크기와 구리전극에 유입된 용접전류의 크기와 구리전극의 선단형상에 따라 용접특성이 달라지는 것이 특징이다.

접촉시간 내에 가열된 금형에 의한 발열과 금속판재 계면사이의 접촉에 따른 전기저항 발열로 인하여 용접부에 열을 분산적으로 공급하여 비교적 넓은 면적의 너깃(nugget)을 얻을 수 있는 장점이 있다.

Fig. 3 은 전기저항으로 가열된 금형과 구리전극에 의한 점용접의 용접과정을 도시하고 있다. 먼저 Fig. 3 의 (a)는 그림에서와 같이 용접하고자 하는 두 장의 판재를 안착 시킨 다음 Fig. 3 의 (b)와 같이 두 장의 판재를 가열된 금형으로 눌러줌으로써 고정하게 된다.

금형에 가열전류를 가하여 금형의 발열에 의하여 용접계면에 전도열을 미리 공급하도록 한다. Fig. 3 의 (c)와 같이 전도열이 공급되고 있는 과정 중의 아주 짧은 일정간격시간이 지나면 구리전극이 용접소재에 접촉되도록 하고 이어서 구리전극에 용접전류를 통전하여 판재 사이의 용접계면에서 발생하는 접촉저항 발열을 이용하여 용접부에 열을 집중시키면서 용접 계면부를 용융한다.

이어서 Fig. 3 의 (d)와 같이 구리전극이 먼저 후퇴 하게 되고 이어서 Fig. 3 의 (e)처럼 가열된 금형이 원위치로 후퇴하게 되면 전기저항으로 가열된 금형 과 구리전극에 의한 점용접 공정이 끝나게 된다.

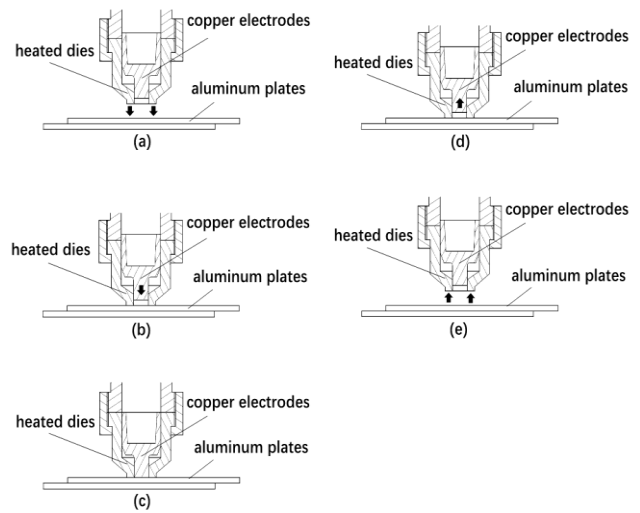


Fig. 3 Process step of heating and welding process : (a)overlapping of plates(1), (b) pressing and heating by heated dies(2), (c) applying of welding current by copper electrode(3), (d) separation of copper electrode (e) separation of heated dies

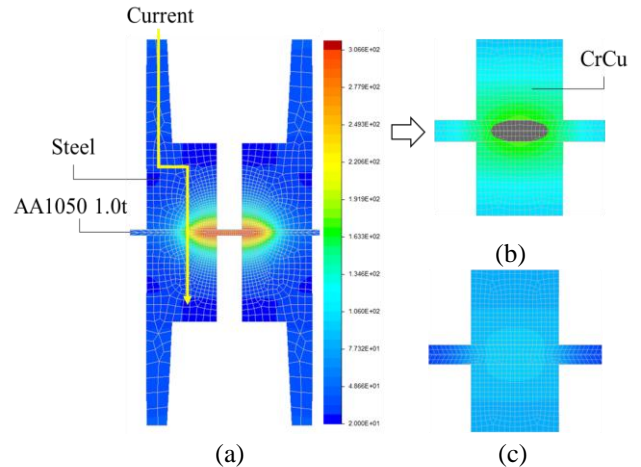


Fig. 4 Simulation results of nugget shape at spot bonded zone (a) temperature distribution in heated dies (b) shape of nugget with heated dies (c) no nugget without heated dies

그리고 Fig. 4 는 용접부근처의 온도와 너깃형성에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보여주는 그림으로서 철계금속으로 된 가열된 금형에 의한 용접판재를 전도가열함과 동시에 통전된 구리전극에 의한 용접계면에서의 접촉저항에 의한 가열로 용접계면이 용융되는 과정을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인할 수 있었다.

해석은 저항용접 상용 코드인 SORPAS2D를 사용하였으며 가열 금형을 이용하여 가열하였을 때의 온도를 예측하여 판재의 초기 온도설정을 다르게 하여 시뮬레이션을 진행 하였다.

가열된 금형에 의한 가열을 시뮬레이션한 Fig. 4의 (a)에서 가열부가 300℃로 가열됨을 도출하여 Fig. 4의 (b), (c)와 같이 각각 초기온도가 300℃일 때와 20℃일 때의 조건에서 구리금형을 이용한 용접을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 전기저항으로 가열된 금형을 사용할 경우 용접 판단기준인 너겟 경 형성이 용이함을 알 수 있었다. 따라서 전기저항으로 가열된 드로잉 금형에 구리전극을 삽입 상태에서 점용접하는 것이 가능함을 예측할 수 있었다.

3. 실험장치 및 실험조건

3.1 실험장치

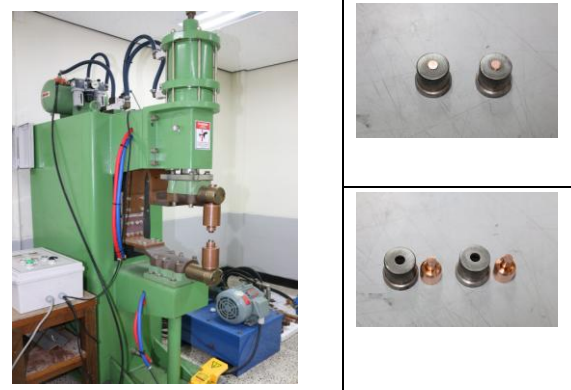
전기저항으로 가열된 금형에 의한 점용접용 실험장비는 기본적으로 Fig. 5와 같은 기존의 프로젝션 (projection) 용접기를 개조하여 사용하였다. 기존의 전극부분을 교체하여 자체 설계제작된 전기저항으로 가열된 금형이 부착된 구리전극을 장착하여 사용하였다.

용접 실험시 두 장의 금속 판재가 안착되고 상부 실린더의 압력에 의해 판재가 고정된다. 용접장비의 중요한 부분인 가열된 금형은 비교적 저항이 높은 재질을 사용하나 여기서는 철계 연강을 사용하였다. 가열된 금형의 형상은 원통형의 형상으로 되어 있으며 구리전극이 삽입되도록 하였다.

3.2 실험조건

실험에 사용된 용접용 금속판재는 알루미늄 5052 합금 소재를 사용하였다. 실험소재에 사용되는 금속판재의 두께는 0.3mm를 사용하였다. 그리고 시편의 표면에 불순물을 제거하기 위하여 메탄올을 이용한 세척이 추가 진행 되었다.

실험의 인자로는 총 2개의 인자를 잡았다. 가열된 금형에 가해지는 가열전류와 구리전극에 가해지는 용접전류로 하였다. 가열된 금형에 인가된 전류 (heating current) 통전시간은 9 cycle로 하였고 용접전류 통전시간은 60cycle 호 한 상태에서 실험하였다.



(a) spot welding machine (b) heated dies and electrode
Fig. 5 Electric resistance spot welding machine using heated dies and copper electrodes

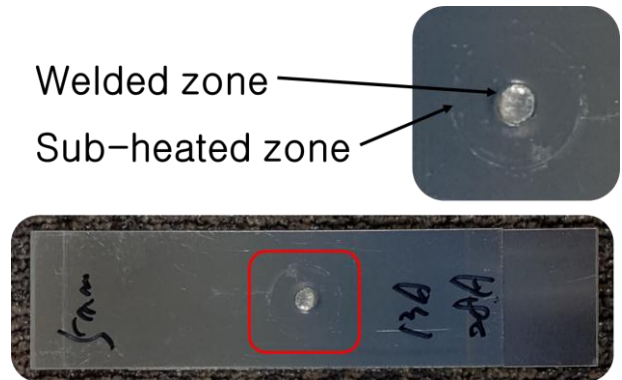


Fig. 6 The shape of surface of spot welded plates

4. 전기저항으로 가열된 금형과 구리전극을 사용한 점용접 실험

4.1 용접가능 적합 전류조건 선행실험

Fig. 6은 전기저항으로 가열된 금형으로 점용접된 알루미늄 판재소재의 형상을 보여주고 있다. 외관상으로 양 면에서 가열된 금형과 구리전극의 압흔을 확인할 수 있었고 그 외적으로 표면에 큰 용접흔적은 발견되지 않았다. 이렇게 용접된 소재를 이용하여 필 시험(peel test) 및 인장전단시험(lap shear test)을 진행하였다.

용접가능 적합 전류조건 실험의 목적은 용접금속판재의 두께 0.3mm의 알루미늄판재를 용접할 때 가열된 금형의 내경은 5.0mm, 외경을 16mm 한 상태에서 가열된 금형과 구리전극에 가해지는 용접가능한 전류조건을 찾아내는 것이다. 따라서 용접판재 여부를 확인하기 위하여 KS B ISO 10447 표준에 예

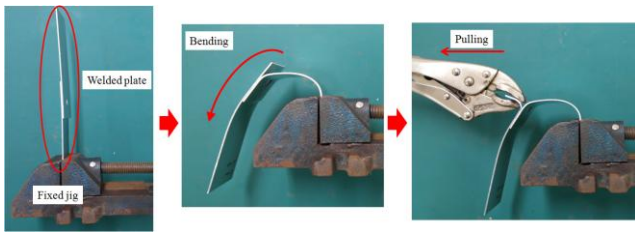


Fig. 7 Peel test of spot welded plates

Table 1 Results of peel test

Heating current	Welding current	Representative fracture shape
Explosion		
7.0kA	9.0kA	
Button fracture		
6.0kA~6.8kA	8.0kA ~ 8.8kA	
Non bonded		
5.8kA	7.8kA	

시되어있는 간이 테스트 방법인 필 테스트를 Fig. 7 과 같이 시행하였고, 시험에 의해 얻어진 결과로 각각의 전류의 세기를 정하였다.

용접가능 적합 전류조건 실험에서는 총 세 가지 부류의 용접부 계면형상 및 표면형상을 이용하여 용접가능 전류세기를 결정하였다.

먼저 전류의 세기가 약해서 용접이 이루어질 정도의 온도가 되지 못한 경우로 비용접 부류가 있다. 다음으로는 용접이 이루어지고 필 테스트를 하였을 때 충분히 용접강도가 나와서 버튼(butten) 파단의 형태가 나오는 경우이다.

마지막으로 과도한 전류의 세기로 인하여 소재가 비산(fusion explosion)되어 소재손실이 발생하는 경우이다. 이 같은 부류는 실제 필 테스트를 해보아도 소재비산에 의해 매우 쉽게 파괴되는 것을 알 수 있다. 용접가능 적합 전류조건 실험은 가열된 금형에 통전된 가열전류세기와 구리전극에 통전된 용접전류세기에 따른 선행 실험 결과는 Table 1와 같다.

세가지 형태로 분류한 필테스트 결과에서 전류의 적합한 세기가 하나씩 있음을 확인하였다. 두께 0.3mm의 알루미늄판재를 용접한 결과 가열된 금형을 사용할 때 구리전극에 가해지는 용접전류를

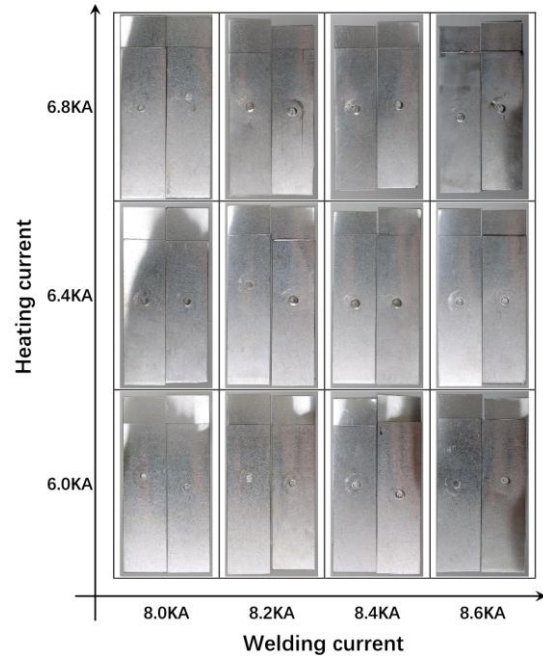


Fig. 8 Experiment results of spot welding process

8.0kA에서 8.8kA의 범위에서 가열된 금형에 가해지는 가열전류의 세기를 6.0kA에서 6.8kA의 범위 내에서 용접이 가능한 정도를 파악 할 수 있었다.

4.2 주요 인자 실험

선행실험을 바탕으로 얻은 용접전류의 세기범위를 이용하여 가열된 금형을 사용한 점용접의 용접강도의 효과를 분석하기 위하여 가열된 금형에 가해지는 전류의 크기를 변화하여 용접부에 공급되는 열량에 변화를 주었다. Fig. 8은 구리전극에는 8.0kA, 8.2kA, 8.4kA, 8.6kA의 용접전류를 가한 상태에서 가열된 금형의 효과를 비교하기 위하여 각 구리전극의 용접전류마다 가열된 금형에 가하는 가열전류의 크기를 6.0kA, 6.4kA, 6.8kA의 경우에 대해서 실험한 결과이다.

이 때 구리전극의 직경은 5mm의 평면형으로 하여 전기저항으로 가열된 금형에 의한 점용접된 시험편을 제작하였고, 제작된 시험편을 KS B 0801규격을 기초하여 정적 전단시험을 진행 하였다

Fig. 9와 같이 가열된 금형에 가해지는 전류가 클수록 용접강도가 크게 나왔다. 따라서 가열된 금형의 열량의 공급이 점용접특성에 영향을 미치는 것으로 분석된다

상기의 최적조건을 조합한 상태인 용접강도가 최

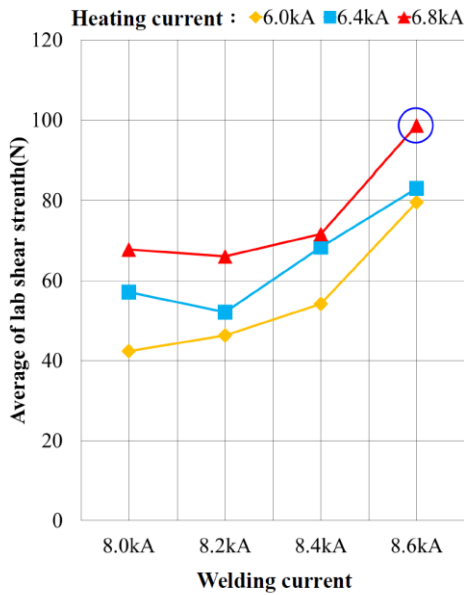


Fig. 9 Welding strength and current of heated dies

대가 되는 용접변수는 가열된 금형의 내경이 5mm, 외경이 16mm일 때 가해지는 전류의 크기가 가열된 금형에 6.8kA의 가열전류와, 구리전극에 8.6kA의 용접전류에서 구리전극의 선단의 모양이 평면형인 경우 최대의 용접강도를 얻을 수 있었다.

상기의 최적조건을 조합한 상태인 용접강도가 최대가 되는 용접변수는 가열된 금형의 내경이 5mm, 외경이 16mm일 때 가해지는 전류의 크기가 가열된 금형에 6.8kA의 가열전류와, 구리전극에 8.6kA의 용접전류에서 구리전극의 선단의 모양이 평면형인 경우 최대의 용접강도를 얻을 수 있었다.

실험 결과에 대한 자료가 모든 용접가능조건을 찾기에는 미흡하나 현 연구단계에서는 가열된 금형과 구리전극을 사용한 새로운 점용접공정의 가능성 여부와 드로잉성형 동시 점용접 공정의 산업체 적용여부를 위한 기초 실험으로 수행되었다. 따라서 모든 용접변수에 대해서 최적의 용접조건을 찾는 단계는 향후 지속적으로 보완 되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 가열된 금형과 구리전극에 의하여 두 장의 알루미늄 금속판재의 점용접특성을 파악하기 위하여 고안된 전기저항으로 가열된 금형과 구리전극을 사용한 점용접의 실험용 장치를 설계 및 제작

하였고, 실험 장치를 이용한 결과를 필 선행시험에 의하여 용접가능 전류조건을 파악하고 인장전단시험을 통하여 용접특성을 파악하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Peel test 실험을 통하여 가열된 금형을 사용하여 용접부에 열을 공급함으로써 용접효과가 더 높게 나타났으며 가열된 금형에 가해지는 가열전류가 높을수록 용접효과가 더 좋게 나왔다.

(2) 구리전극에 가해지는 용접전류가 클수록 용접효과가 좋게 나왔다.

(3) 최적의 조건에서 얻어진 용접강도는 KA B ISO 18595 규격에서 요구하는 최소 전단강도를 만족함을 알 수 있었다.

상기와 같이 전기저항으로 가열된 금형을 사용한 점용접으로 용접된 시편에 대한 용접강도를 조사한 결과 새로 제안된 전기저항으로 가열된 금형과 구리전극을 사용한 점용접법에 대한 사용가능성을 알 수 있었고 향후 드로잉금형을 이용하여 두 장의 금속판재를 용접하는 성형동시 점용접공정에 응용될 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] N. H. Kim, C. G. Kang, 2010, The Prediction of Interfacial Heat Transfer Coefficient According to Contact Time and Pressing in Forging and Casting Die Materials for the Hot Press Forming, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 6, pp.378~386.
- [2] H. Y. Ryu, Y. E. Kim, J. H. Kim, 2001, Improvement of Square Cup Drawability of Clad Sheet Metal by Warm Forming Technique, Trans. Mater. Process., Vol. 10, No. 3, pp.253~260.
- [3] Y. H. Chung, K. K. Lee, J. Y. Suh, M. C. Shin, The Effect of Friction between Roll and STS on the roll Cladding Behavior of STS/AL/STS Sandwich Sheet, Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 6, pp.482~486.
- [4] J. K. Kim, M. Y. Huh, K. K. Jee, 2004, Proc. Kor. Soc.

- Tech. Plast. Spring Conf.(editor: Y. W. Chang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 221~224.
- [5] H. G. Kang, J. S. Park, M. Y. Huh, S. H. Park, 2005, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf.(editor: C. G. Kang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 303~306.
- [6] J. H. Lee, T. H. Kim, M. Y. Lee, I. T. Jin, 2010, A Study on Welding Strength of Extrusion-Riveting Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 8, pp.460~467.
- [7] Y. S. Kim, 2012, Future of the Friction Stir Spot Welding Technology for Non-Ferrous Metal, J. of Kor. Welding Joining Soc., Vol. 30, No. 3, pp. 202~212
- [8] S. J. Lee, I. T. Jin, 2013, A Study of the Weld Strength of Extrusion-Rivet Spot Welding Using Electrodes Heated by Electric Resistance, Trans. Mater. Process, Vol. 22, No. 4, pp.189~195.
- [9] S. J. Lee, T. H. Kim, I. T. Jin, 2014, A Study on the Effect of Pin Height on Weld Strength in Extrusion-Rivet Spot Welding of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process, Vol. 23, No.5, pp. 282~288.
- [10] T. H. Kim, I. T. Jin, 2015, Electric Resistance Heated Friction Stir Spot welding of Overlapped Al5052 Alloy Sheets, Trans. Mater. Process, Vol. 24, No.4, pp. 256~263.
- [11] I. T. Jin, Spot Welding Machine with Auxiliary Heating Electrode and Spot Welding Method using the Electrodes, Korea Patent, 10-1404288.