

가열금형을 사용하는 강철과 알루미늄 이중금속판재의 전기저항 이중스폿용접

김태현¹ · Sun Xiaoguang² · 진인태[#]

Electric Resistance Double Spot Welding Process of Dissimilar Metal Plates of Steel and Aluminum by Using Heating Dies

T. H. Kim, X. G. Sun, I. T. Jin

(Received November 22, 2017 / Revised December 28, 2017 / Accepted January 5, 2018)

Abstract

In this paper, a double spot welding process, utilizing electric resistance heating dies, is suggested for the spot welding of dissimilar metal plates for drawing and concurrent spot welding. This double welding process has two heating methods for the fusion welding at the interfacial zone between steel and aluminum plates, such as heating method by thermal conduction of electric resistance by welding current induced to heating dies, and heating method by electric resistance between contacted surfaces of two plates by welding current induced to copper electrode. This double welding process has welding variables such as each current induced in heating dies and in copper electrode, outer diameters of heating dies, and edge shape of copper electrode. Experiments for current conditions in welding process should be demanded in order to get successful welding strength. It was known that the welding strength could be reached to the value demanded on industry fields under such welding conditions as heating dies of outer ring dia. 12mm contacted on steel plate, as heating dies of outer ring dia. 14mm contacted on aluminum plate, and as copper electrode of dia. 6.0mm, and as 3 times continuous heating method by 1st current of 11 kA(9cycle), 2nd current 11 kA(60cycle), 3rd current 7 kA(60cycle) applied in steel heating dies and copper electrodes, flat edge of copper electrode, for double spot welding process of dissimilar metal plates of steel and aluminum of 1.0 mm thickness.

Key Words : Double Spot Welding, Dissimilar Metals, Steel Plate, Aluminum Plate, Heating Dies, Copper Electrode, Welding Strength, Electric Resistance

1. 서론

소성가공하기 힘든 고강도강판의 드로잉율을 향상시키기 위하여 강판에 열을 가하면서 가공하는 핫프레스포밍 기술이 소개되고 있다[1]. 비강성이 좋은 우수한 이중금속 복합판재로 된 드로잉제품을 가공하기 위하여 온간가공에 의하여 클래드시트 복

합판재의 드로잉성능에 관하여 연구된 바 있다[2].

소성유동접합을 통한 복합판재가공으로서 금속판재를 순간적인 폭발압력을 가하여 면접합을 하는 폭발용접이 있으며, 두 장의 판재를 중첩하여 동시에 열간압연함으로써 샌드위치 판재를 가공하는 방법과 알루미늄 금속과 강철의 압연에 의한 클래딩시 변형에 관하여 연구된 바 있다[3~5].

1. ㈜성우하이텍 기술연구소

2. 부경대학교 대학원 기계공학과

Corresponding Author : Pukyong National University, Mechanical Engineering Dept., E-mail: jint@pknu.ac.kr

면접합(surface contact bonding)된 이중복합판재를 이용하여 드로잉가공과 같은 소성가공을 하게 되면 면접합된 두 금속판재의 재료물성치의 차이로 인하여 면접합면에서의 파단이 발생 수 있다.

따라서 재질이 다른 금속으로 이루어진 이중복합판재를 드로잉하기 위하여 면접합되지 않은 두 장의 판재를 동시에 드로잉하고 최종적으로 접합표면 전체를 접합하기보다는 부분적으로 스폿용접하여 이중 복합금속판재로 된 드로잉제품을 가공할 필요가 있다.

경량화를 위한 비철금속의 사용이 증가하고 있으며 강도가 우수한 강철과 가벼운 알루미늄 비철금속으로 된 이중금속판재의 스폿용접성을 확보하기 위한 전기저항 스폿용접에 관한 연구가 시도되고 있다[6~8].

상기 목적에 따라 철계 드로잉금형에 구리전극을 삽입하고 전류공급에 의해 드로잉금형을 가열하여 이중금속판재를 드로잉가공한 다음 전기저항 스폿용접을 통하여 이중금속판재로 된 드로잉 제품을 가공하고자 한다.

본 연구의 목적은 이러한 드로잉금형 구조내에서 스폿용접의 용접강도의 문제를 해결하기 위하여 강철금속판재와 알루미늄 금속판재를 가열금형과 구리전극으로 스폿용접할 때 그 용접특성을 파악할 필요가 있다.

본 연구와 관련된 이중스폿용접 방법을 이용하여 알루미늄판재와 알루미늄판재와의 동종금속판재의 스폿용접에 적용한 경우가 소개되어 있다[9].

2. 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접의 개요[9]

Fig. 1 은 두 장의 중첩된 금속판재를 가열금형으로써 드로잉한 후 구리전극에 의하여 스폿용접(spot welding)할 수 있는 프레스 드로잉금형을 도시하고 있다[9].

철계(steel)금속으로 된 가열금형(heating dies)에 전류를 통전하면 저항발열된 상태에서 강철과 알루미늄으로 된 이중금속판재를 드로잉한 후 드로잉 가열금형에 삽입된 구리전극에 용접전류를 인가함으로써 필요한 여러 부분을 동시에 스폿용접하는 드로잉가공동시 스폿용접 가공방법이 기 제안된 바 있다[9].

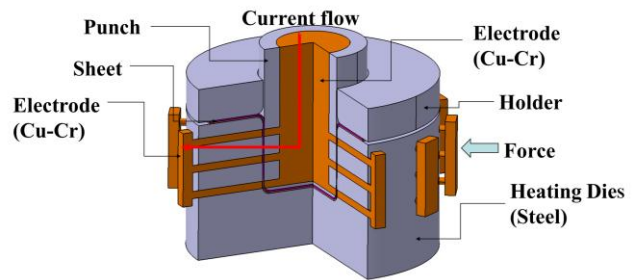


Fig. 1 Concept design of drawing and concurrent welding process by electric resistance heating steel dies and copper electrodes [9]

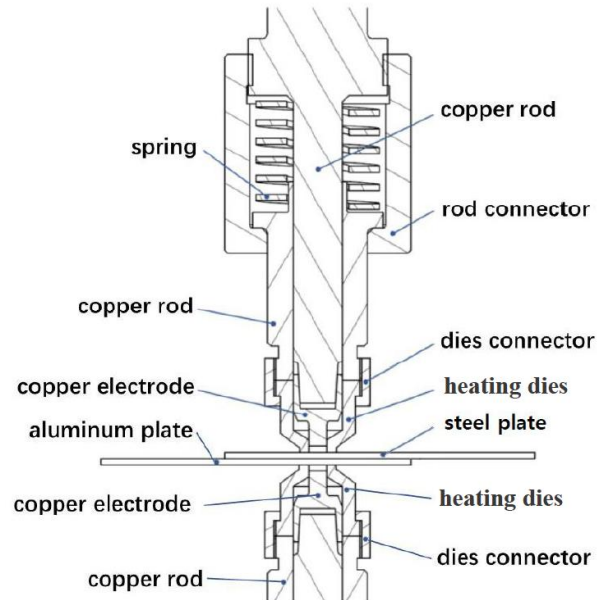


Fig. 2 Section view double spot welding machine using heating dies and copper electrode [9]

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

이어서 드로잉공정이 완성되면서 금형과 편치에 삽입된 구리전극들이 상호 일치하는 순간 대용량의 용접전류가 구리전극을 통하여 흐르면서 두 장의 금속판재를 스폿용접하게 되는 것이 특징이다.

상기와 같이 드로잉금형에 삽입된 구리전극에 의한 스폿용접의 개념은 기 제안된 보조가열전극이 부착된 스폿용접기술[10]의 확대적용된 개념이다.

이러한 스폿용접장치가 프레스 드로잉가공 금형 표면에 수효대로 삽입되어 사용할 수 있는 것이 특징이다. 원통형 철계 가열금형에 삽입된 구리전극

에 의한 이중스폿용접 공정의 구성과 원리에 대하여 소개하면 다음과 같다.

Fig. 2 는 원통형 철계 가열금형(ring type steel heating dies)에 삽입된 구리전극에 의하여 두 장의 중첩된 이중금속판재를 스폿용접하는 전기저항 이중스폿용접기(double spot welding machine)의 단면도를 나타내고 있다[9].

일차적으로 가열금형이 강철 금속판재(steel plate)와 알루미늄 금속판재(aluminum plate)에 먼저 접촉한 후 가열전류의 통전에 의해 발열된 가열금형에 의한 전도열이 금속판재에 먼저 공급하도록 구리전극의 선단보다 가열금형의 선단이 돌출되어 스프링으로 지지되어 있는 것이 특징이다.

이어서 가열금형의 압축에 따른 스프링의 압축으로 인하여 구리전극의 선단이 금속판재에 접촉되면 용접전류가 통전되어 두 금속판재사이의 접촉저항에 의한 발열에 의해서 금속판재의 계면을 용융하여 이중스폿용접하도록 하는 것이 특징이다.

이와 같이 용접부가 가열금형에 의하여 우선 가열되고 난 다음 구리전극에 의해 이중스폿용접하는 구조로 구성되어 있다.

철계금속으로 된 가열금형에 통전된 가열전류의 양과, 가열금형이 강철 금속판재와 접촉하는 면적과 가열금형이 알루미늄 금속판재와 접촉하는 면적의 차이, 구리전극에 유입된 용접전류의 크기, 그리고 구리전극의 선단형상의 차이에 따라 이중스폿용접 특성이 달라지는 것이 특징이다.

접촉시간 내에 가열금형에 의한 발열과 금속판재 계면사이의 접촉에 따른 접촉저항 발열로 인하여 스폿용접부에 열을 집중 공급하여 비교적 넓은 면적의 너겟(nugget)을 얻을 수 있는 효과가 있다.

Fig. 3 은 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접의 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 가열금형으로 눌러줌으로써 고정하게 된다. 가열금형에 전류를 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 발생

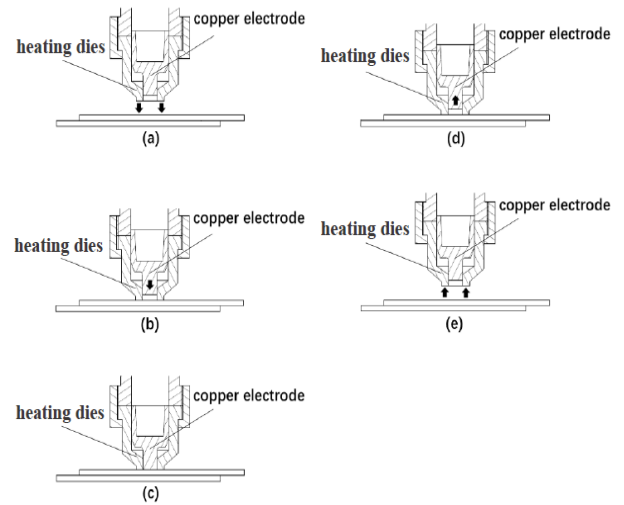


Fig. 3 Process step of heating and welding process: (a) overlapping of plates, (b) pressing and heating by heating dies, (c) applying of welding current by copper electrode, (d) separation of copper electrode (e) separation of heating dies [9]



(a)AC Spot welding machine (b) heating dies and copper electrodes

Fig. 4 Double spot welding machine using heating dies and copper electrodes [9]

하는 접촉저항 발열을 이용하여 용접부에 열을 집중시키면서 용접계면부를 용융한다.

이어서 Fig. 3의 (d)와 같이 구리전극이 먼저 후퇴하게 되고 이어서 Fig. 3의 (e)와 같이 가열금형이 원위치로 후퇴하게 되면 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접 공정이 끝나게 된다.

3. 실험장치 및 실험조건

3.1 실험장치

가열금형에 의한 이중스폿용접용 실험장비는 기본적으로 Fig. 4와 같은 AC 전류를 사용하는 스폿용접기를 개조하여 사용하였다. 기존의 전극부분을 교체하여 자체 설계제작된 가열금형에 삽입된 구리전극을 장착하여 사용하였다[9].

용접장비의 중요한 부분인 가열금형은 비교적 저항이 높은 재질을 사용하나 여기서는 연강을 사용하였다. 가열금형의 형상은 원통형(ring)의 형상으로 되어 있으며 구리전극이 삽입되도록 하였다.

3.2 실험조건

실험에 사용된 용접용 금속판재는 일반 SPCE 2010 압연강과 알루미늄 5052합금 소재를 사용하였다. 실험소재에 사용되는 금속판재의 두께는 모두 1.0mm를 사용하였다.

실험에 사용되는 두 종류의 이중스폿용접 변수인 가열금형과 구리전극에 가해지는 용접전류(welding current)와 가열금형의 외경(ring O.D.)의 크기의 두 용접변수에 따라 이중스폿용접실험을 통해 용접가능 조건을 정하였다.

4. 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접 실험

4.1 용접가능 적합 전류조건 선행실험

Fig. 5는 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접된 판재소재의 용접부형상을 보여주고 있다. 외관상으로 알루미늄 금속판재의 표면에서 가열금형과 구리전극의 압흔을 확인할 수 있었고 강철 금속판재의 표면상에는 가열금형에 의한 검은 색의 가열흔적을 볼 수 있었다.

Fig. 6은 이중스폿용접된 이중금속판재의 용접부절단 단면 사진이다. 구리전극주위에 가열금형이 배치되어 있으므로 압력이 분산되어 구리전극의 압흔은 줄어들으나 금속판재와 평면접촉함으로써 알루미늄 외관 표면이 다소 거칠게 나타났음을 알 수 있다.

용접가능 적합 전류조건 실험은 이중스폿용접실험 후 필(peel) 테스트를 통하여 버튼 너겟(button nugget)의 발생유무와 용접부표면의 외관 상태를 보고 전류의 범위와 가압력을 정하였다.

4.2 주요 인자 실험

선행실험을 바탕으로 얻은 용접전류의 세기범위를

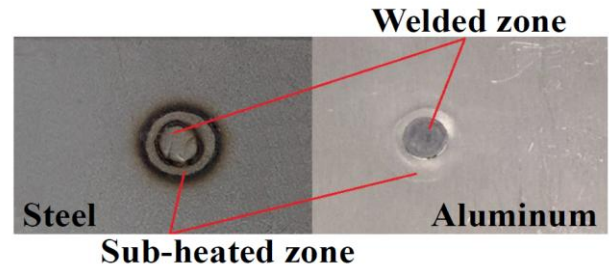


Fig. 5 The shape of surface of spot welded plates

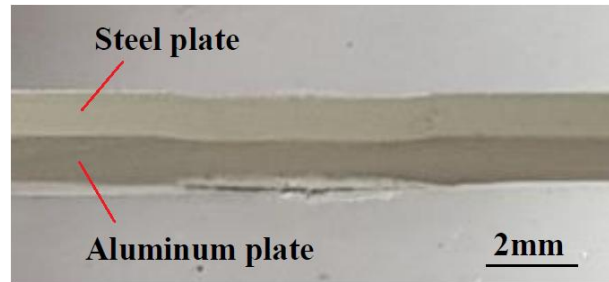


Fig. 6 The shape of welded section of spot welded plates

Table 1 Shape and dimension of heating dies and copper electrode

		Material	Shape& Size	Edge type
Heating dies	Upper	Mild steel	Ring O. D. 12mm, Ring I. D. 6mm	Flat edge
	Lower	Mild steel	Ring O.D. 14mm, Ring I. D. 6mm	Flat edge
Copper electrode	Upper	Cu-Cr alloy	Rod Dia. 6mm	Flat edge
	Lower	Cu-Cr alloy	Rod Dia. 6mm	Flat edge

Table 2 Extend of welding variables for experiments

	Welding current	Welding time	Current supply	Electrode force	Cooling & dressing
Heating dies	6~12kA	5~60 cycle	3 times	2000~3000N	No cooling
Copper electrode	6~12kA	5~60 cycle	3 times	2000~3000N	No dressing

이용하여 가열금형을 사용하는 이중스폿용접의 용접강도의 효과를 분석하였다. 두 금속판재의 종류에 따라 가열금형과 각 금속판재의 접촉면적을 다르게 하여 각각의 금속판재의 용접부에 공급되는 열량에 차이를 두면서 가열금형과 구리전극에 가해지는 전류의 크기를 변화하여 용접가능한 전류 범위를 찾았다.

Table 1은 실험에 사용된 가열금형과 구리전극의 제원을 나타내고 있으며 상부의 강철 금속판재와

접촉하는 가열금형의 내경이 6mm, 외경이 12mm일 때 그리고 하부의 알루미늄 금속판재와 접촉하는 가열금형의 내경이 6mm, 외경이 14mm로 한 상태에서 전류조건 변화에 따른 이중스폿용접의 용접성능실험을 하였다.

이 때 가열금형에 삽입되는 구리전극의 직경은 각각 6mm로 같게 하고 구리전극과 각각의 소재와 접촉하는 구리전극의 선단모양은 평면형(flat edge)로 하였다.

Table 2는 가열금형과 구리금형에 가해지는 전류의 실험범위를 나타내고 있으며 전류통전시간(welding time)은 1초를 60cycle로 하고 5-60 cycle 범위내에서 실험하였다. 여기서 전류공급(current supply)은 전류를 연속적으로 공급하는 횟수(times)를 나타낸다.

가열금형과 구리전극에 가해지는 가압력 2500N 하에서 전류의 크기는 같게 하고 이중스폿용접부에 1 타점당 3회의 전류를 연속적으로 공급하는 것을 1 타점으로 하고 1차 11kA (9cycle), 2차 11kA(60cycle), 3차 7 kA(60cycle)의 전류를 연속적으로 공급할 때 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿 용접방법에 의한 이중금속판재간의 전기저항 스폿 용접이 가능함을 알 수 있었다.

산업체에 적용하기 위한 스폿용접강도를 만족하는 지를 판단하기 위해서 KSB ISO 18595의 식 (1)의 최소 용접전단강도와 비교하였다.

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

P_s : 최소 용접전단강도(N), t : 실험편의 두께(mm)

d : 너겟지름(mm) $> 5\sqrt{t}$, R_m : 알루미늄 최대인장강도(MPa)

Fig. 7 ~ Fig. 9는 A, B, C 세 그룹의 연속타점 이중스폿용접된 시편의 표면 및 용접계면 사진이다.

Fig. 7은 A 그룹의 연속타점에서의 용접부 표면의 외관 형상과 너겟 형상 그리고 인장시험에서의 용접강도를 나타내고 있다. 연속타점의 수가 8회를 진행할 때 알루미늄 너겟이 강철 금속판재에 융착되어 있지 않고 떨어져 분리되는 용접부를 볼 수 있었다.

그러나 인장시험결과 용접강도의 크기가 평균 2750N으로서 산업체에서 요구하는 상기 식(1)에서 알루미늄과 강철 금속판재의 두께 $t = 1\text{mm}$ 이고, d 는 측정된 알루미늄 너겟 평균직경인 5.12mm, 여기서

R_m 은 알루미늄 5052의 최대인장강도인 193MPa를 적용하여 계산한 알루미늄 최소 용접 전단강도인 2570N과 비교하여 A2 용접시편의 용접강도 2503N을 제외하고 다른 시편은 최소 전단강도값을 만족하였다.

Fig. 8은 B 그룹의 연속타점에서의 용접부 표면의 외관형상과 너겟 형상 그리고 인장시험에서의 용접강도를 나타내고 있다. 연속타점의 수가 33회를 진행할 때 일부를 제외하고 알루미늄 너겟이 강철 금속판재에 융착되어 있지 않고 떨어져 분리되어 있는 것을 볼 수 있었다.

그리고 인장시험결과 용접강도의 크기가 평균 2457N으로서 산업체에서 요구하는 알루미늄 스폿용접의 최소 용접전단강도인 2570N에 근접하는 이중스폿 용접강도를 얻을 수 있었다.

다만 연속타점 초반 10 회중 B2, B3 시편의 용접






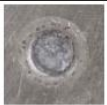






















Copper Diameter $\phi = 6\text{mm}$ Steel Diameter $\phi = 12\text{mm}$	Surface of steel plate	Surface of aluminum plate	Aluminum-nugget by sticking on steel plate	Aluminum-hole by sticking on steel plate	Shearing load by tensile test (N)
A2					2503
A3					2869
A4					2644
A5					3206
A6					2784
A7					2575
A8					2672
Average of lab shear strength(N)					2750

Fig. 7 Appearance of surface and welded zone after peel and tensile test (group A)


























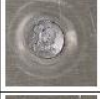




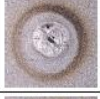


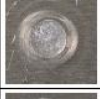












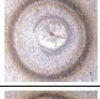




















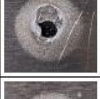










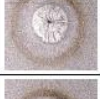


















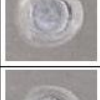



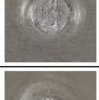



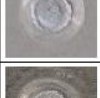














Copper Diameter $\phi = 6mm$ Steel Diameter $\phi = 12mm$	Surface of steel plate	Surface of aluminum plate	Aluminum-nugget by sticking on steel plate	Aluminum-hole by sticking on steel plate	Shearing load by tensile test (N)	Copper Diameter $\phi = 6mm$ Steel Diameter $\phi = 12mm$	Surface of steel plate	Surface of aluminum plate	Aluminum-nugget by sticking on steel plate	Aluminum-hole by sticking on steel plate	Shearing load by tensile test (N)
B2					2428	B18					2128
B3					2550	B19					2456
B4					3216	B20					2241
B5					3450	B21					2153
B6					3028	B22					2381
B7					3394	B24					1613
B8					2841	B25					1997
B9					2944	B26					2109
B10					2587	B27					3744
B11					2766	B28					2306
B13					1950	B29					2466
B14					2194	B30					2559
B15					1491	B31					2316
B16					1816	B32					1984
B17					2288	B33					2325
Average of lab shear strength(N)											2457

Fig. 8 Appearance of surface and welded zone after peel and tensile test (group B)

Copper Diameter Ø = 6mm Steel Diameter Ø = 12mm	Surface of steel plate	Surface of aluminum plate	Aluminum-nugget by sticking on steel plate	Aluminum-hole by sticking on steel plate	Aluminum nugget size attached on steel plate	Welded section by Metallurgical Microscope	Shearing load by tensile test (N)
C1							Peel test
C2							2859
C3							2241
C4							3197
C5							3553
C6							3328
C7							3563
C8							2981
C9							2906
C10							2878
C11							2972
C12 (Peel test)							Peel test
Average of nugget size by tensile test(mm)							5.12
Average of lab shear strength(N)							3048

Fig. 9 Appearance of surface and welded zone and section after peel and tensile test (group C)

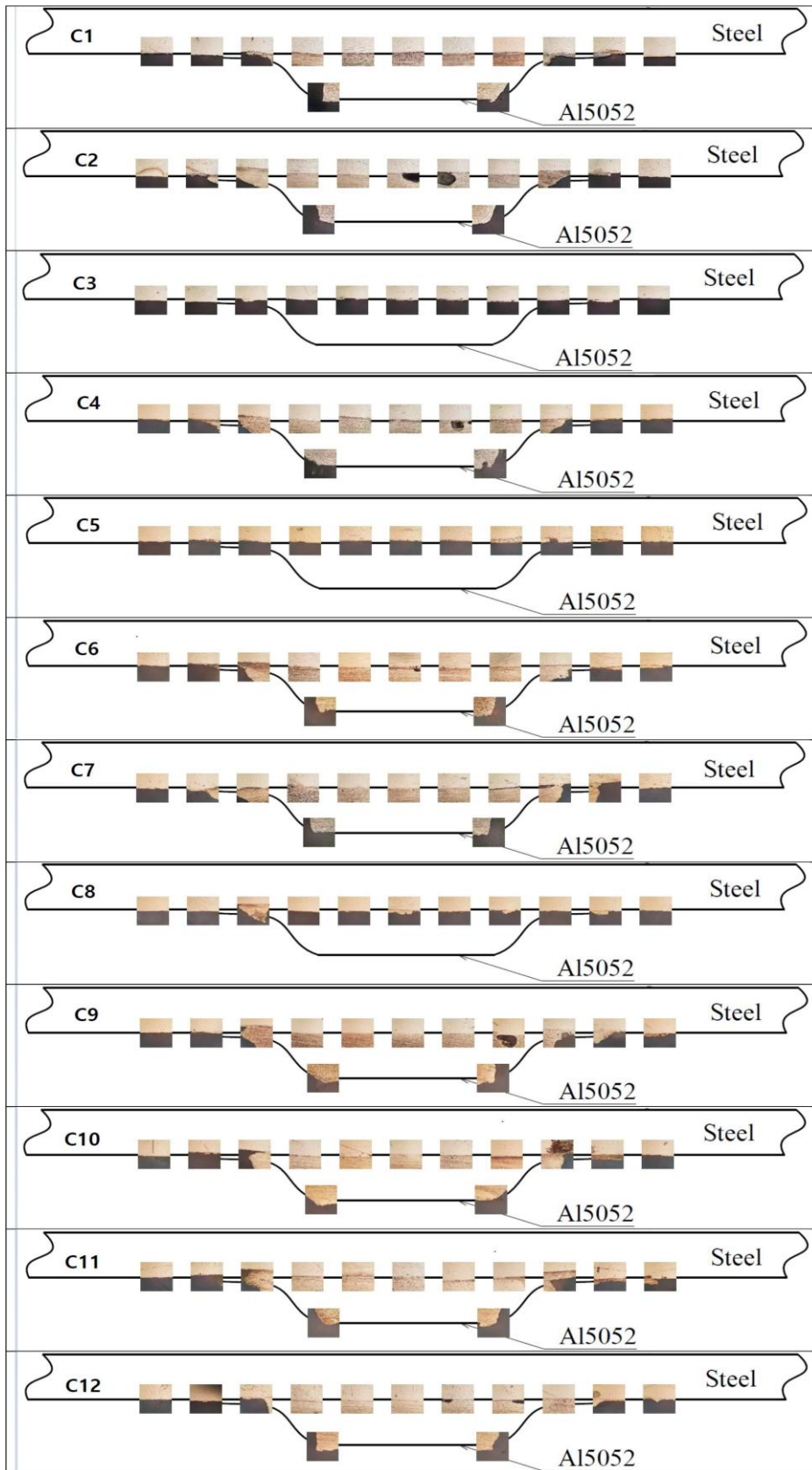


Fig.10 Figure arrangement of microscopic section of aluminum nuggets welded on steel plates(X400)

강도가 최소용접강도 2570N에 미치지 못하나 10회의 평균용접강도 2919N는 최소 용접전단강도를 만족함을 알 수 있다. 따라서 적당한 전극팁 드레싱과 용접봉 생각을 추가로 고려하면 충분한 용접강도를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 8에서 누락된 시편번호는 연속타점 12회, 23회 필테스트를 실시하여 버튼과단이 확인된 시편이다.

Fig. 9는 C 그룹의 연속타점에서의 용접부 표면의 형상과 너겟형상 그리고 용접부단면 현미경사진과 용접강도를 나타내고 있다. 연속타점의 수가 12회를 진행할 때까지 알루미늄 너겟이 강철 금속판재에 용착되어 붙어 있는 용접부를 볼 수 있었다.

그리고 인장시험결과 용접강도의 크기가 C3 시편의 용접강도 2241N은 최소 용접전단강도를 만족하지 못하나 평균 3047N으로서 산업체에서 요구하는 알루미늄 스폿용접의 최소전단강도인 2570N을 초과하는 이중스폿 용접강도를 얻을 수 있었다.

A,B,C 세 그룹 연속타점 실험의 차이는 같은 조건하에서 구리전극 및 가열전극의 선단면을 드레싱하지 않고 연속적으로 스폿용접할 수 있는 횟수의 차이를 나타내고 있다. 세 그룹 모두에서 10회 이하의 경우에는 드레싱하지 않고 스폿용접이 가능한 용접강도를 얻을 수 있으나 10회 이후에는 용접강도가 떨어져 드레싱을 추가할 필요성이 제기되었다.

Fig. 10은 연속타점 실험 C 그룹의 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 이중금속판재의 이중스폿용접후 필테스트와 인장시험한 시편에 있어서 강철 금속판재에 알루미늄 너겟이 용착되어 있는 용접면의 40배 금속현미경 단면사진을 배치하여 도시하고 있다.

용접계면상에서 별다른 균열은 보이지 않았으나 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재간의 이중스폿용접시 발생하는 금속간 화합물의 형성에 대해서는 차후 연구에서 보다 구체적으로 고찰될 것으로 보여진다. 그리고 이중스폿용접후 피로시험등 기타의 용접성과 관련된 시험은 차후 진행되는 연구에서 상보될 것으로 보여진다.

현미경 단면사진 배치도에서와 같이 용접계면의 용접상태에 있어서 별다른 균열은 발견되지 않았다.

Fig. 11~Fig. 13의 그림과 같이 총 3종류 실시한 A,B,C연속타점 실험그룹의 연속타점 이중스폿용접 실험후 시편의 용접강도를 나타내는 그림이다.

두께 $t = 1.0\text{mm}$ 일 때 규격에서 요구하는 최소 용

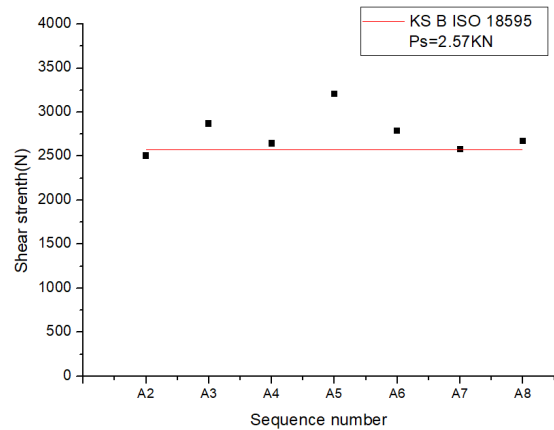


Fig.11 Shear strength of welded plates in group A

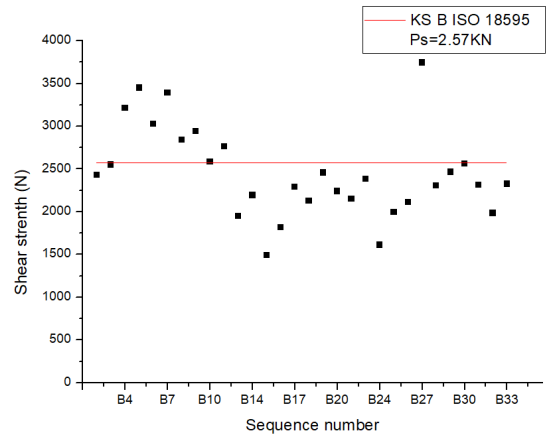


Fig.12 Shear strength of welded plates in group B

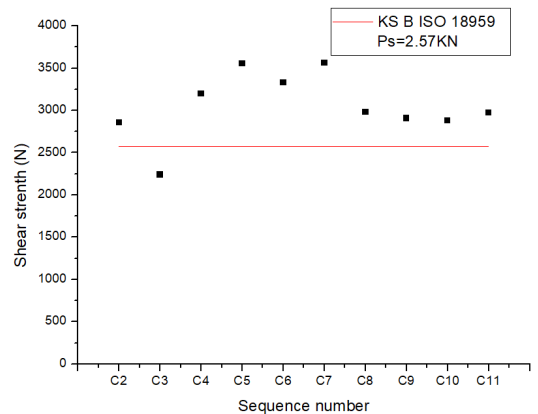


Fig.13 Shear strength of welded plates in group C

접전단강도(minimum shear strength)인 $P_s = 2,570\text{N}$ 을 기준으로 비교하면 연속타점 A그룹은 총7회(sequence number)중 1회를 제외한 6개의 시편이 최소 용접전단강도를 만족하였고, 연속타점 B그룹 실험에서는33회의 시편중 10개의 시편이 용접전단강

도를 만족하고 있음을 알 수 있다.

그리고 연속타점 C 그룹 실험에서는 10 회의 시편 가운데 9 개의 시편이 상기 최소 용접전단강도를 만족함을 알 수 있었다.

Fig. 12와 같이 연속타점이 진행 될수록 용접강도가 점점 작아지는 것을 볼 때 연속타점수가 이중스폿용접 특성에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

실험시편에 대한 용접강도가 최소용접전단강도에 미치지 못하는 시편에 대하여서는 향후 연속타점실험의 보완 개선으로 같은 실험조건하에서는 같은 용접강도를 얻을 수 있는 신뢰성확보에 필요한 냉각장치의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

또한 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접의 실험 결과에 대한 자료가 모든 용접가능조건을 찾기에는 미흡하나 현 연구단계에서는 가열금형을 사용하는 이중금속판재의 전기저항 이중스폿용접의 용접가능성 여부를 판단하고 용접변수의 변화에 따른 이중스폿용접 성능변화는 향후 스폿용접기의 표준화가 진행되면 용접변수의 표준화도 진행될 것으로 사료된다.

본 연구는 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 이중금속판재로 구성된 이중복합판재의 프레스 드로잉가공과 동시에 전기저항 스폿용접을 수행할 수 있는 새로운 공정을 산업체에 적용하기 위한 기초 연구로 수행되었다.

따라서 모든 용접변수에 대해서 최적의 용접조건을 찾는 단계는 향후 지속적으로 보완 되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 이중금속판재간의 전기저항 이중스폿용접 특성을 파악하기 위하여 가열금형을 사용하는 전기저항 이중스폿용접기를 이용하여 이중스폿용접된 시편결과를 필테스트에 의하여 용접가능 전류조건을 파악하고 인장전단실험을 통하여 용접강도를 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 가열금형에 통전된 전류에 의하여 전기저항으로 발열된 철계 가열금형이 각각의 금속판재표면과 접촉하는 면적과 가열금형재질의 차이로 인하여 중첩된 금속판재의 양면에 각각 다른 전도열을 공급하여 용융점이 다른 이중금속판재에 각각 필요한

열량공급을 다르게 공급하게 되면 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 이중금속판재간의 접촉면에서 각각의 용융온도에 근접하는 온도를 유지하여 비교적 넓은 접촉영역에서 용융용접(fusion welding)이 발생함을 알 수 있었다.

(2) 강철 금속판재와 접촉하는 연강으로 된 가열금형의 내경은 6mm, 외경은 12mm, 알루미늄 금속판재와 접촉하는 동종의 가열금형의 내경은 6mm, 외경은 14mm로 하여 각각의 이중금속판재와 접촉하는 면적에 차이를 둔 상태에서, 가열금형에 공급하는 1차 전류의 크기를 11kA, 통전시간 9cycle로 하여 이중금속판재를 각각 다른 온도로 예비가열하고, 이어서 가열금형과 구리전극에 전류 11kA 통전시간 60cycle의 2차전류와, 전류 7kA 통전시간 60cycle의 3차 전류를 연속적으로 공급할 때 이중금속판재간의 전기저항 이중스폿용접이 가능하였음을 확인할 수 있었고 이 조건하에 세 그룹의 연속타점 이중스폿용접 실험을 수행하여 규격에서 요구하는 용접강도와 용접부에서의 현미경 단면사진을 얻을 수 있었다.

(3) 연속타점으로 실험한 결과 무드레싱 연속타점의 수가 10 회 이하인 경우는 3 그룹의 A,B,C 연속타점 시편 몇 개를 제외하고 거의 모두에서 최소 용접전단강도를 만족하고 있으나 연속타점이 10 회를 넘어가면서 용접강도가 작게 나왔다. 따라서 냉각을 고려하지 않은 실험임을 고려할 때 향후 냉각효과를 추가하게 되면 최소 용접전단강도를 만족하는 연속타점의 수가 많아질 수 있음을 알 수 있었다.

(4) 1 차전류 11kA(9cycle), 2 차전류 11kA(60cycle), 3 차전류 7kA(60cycle) 의 전류공급을 3 차 연속적으로 반복하는 용접가능 전류조건에서 얻어진 연속타점 10 회 이하의 경우에서의 용접강도를 살펴보면 몇 개의 시편을 제외하고 세 그룹 실험 거의 모두에서 KS B ISO 18595 규격에서 요구하는 최소 용접전단강도를 초과하고 있음을 알 수 있었다.

(5) 용접된 시편의 표면외관의 압흔 흔적은 양호하였고 용접부 금속현미경 단면사진을 통하여 용접계면상에 뚜렷한 균열은 관찰되지 않았다. 그리고 실험그룹 C의 너겟형상을 보면 알루미늄 금속판재로부터 떨어져 나온 너겟이 평균직경 5.12mm의 크기로 형성되어 강철 금속판재에 융착되어 있는 것을 관찰할 수 있었으며 규격에서 요구하는 최소 너겟크기($5\sqrt{d}$)를 만족하는 것을 알 수 있었다.

상기와 같이 철계 가열금형과 가열금형에 삽입된 구리전극을 사용하여 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 이중금속판재간의 전기저항 이중스폿용접에 대하여 용접강도를 조사한 결과 기 제안된 보조 가열전극이 부착된 전기저항 스폿용접법을 이용하여 이중금속판재간의 전기저항 이중스폿용접에 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 향후 드로잉금형을 이용하여 강철 금속판재와 알루미늄 금속판재의 중첩된 이중금속판재의 프레스 드로잉가공과 동시에 두 장의 이중금속판재를 전기저항 스폿용접할 수 있는 드로잉가공동시 전기저항 스폿용접가공에 응용될 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)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, 2002, 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., 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., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 303~306.
- [6] B. C. Son, S. Y. Woo, J. B. Lee, Y. B. Choi, H. S. Chang, 1997, A Study on Resistance Spot Welding of Dissimilar Sheet Metals(Aluminum Alloy-Steel Sheets), *J. Kor. Weld. Soc.*, Vol. 15, No. 4, August, pp. 268~288.
- [7] B. J. Jo, J. S. Kim, H. S. Yoo, I. J. Kim, S. H. Lee, Y. G. Kim, 2015, Characterization of Spot welded Al5052/DP590 Dissimilar Materials and Processing Optimization, *J. Weld. Join.*, Vol.33, No. 2, pp. 56~61.
- [8] R. F. Qiu, C. H. Iwamoto, S. B. Satonaka, 2009, Interfacial Microstructure and Strength of Steel/aluminum Alloy Joints Welded by Resistance Spot Welding with Cover Plate, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 209, No. 8, pp. 4186~4193.
- [9] T. H. Kim, I. T. Jin, 2017, Characteristics of Drawing and Concurrent Spot Welding of Overlapped Aluminum Plates with Copper Electrodes Inserted in Heated Dies, *Trans. Mater. Process*, Vol. 26, No. 3, pp. 174~180.
- [10] I. T. Jin, 2014, Spot Welding Machine with Auxiliary Heating Electrode and Spot Welding Method Using the Electrodes, Korea Patent, 10-1404288.