

점용접 간극이 용접성에 미치는 영향에 관한 연구

임재규* · 양승현** · 국중하**

*전북대학교 기계공학부, 자동차 신기술연구소

**전북대학교 대학원 기계설계학과

A Study on Effects of Welding Clearance on Spot Weldability

Jae-Kyoo Lim*, Seung Hyon Yang** and Jung Ha Kuk**

*Automobile Hi-Technology Research Inst. and Faculty of Dept. of Mechanical Design, Chonbuk Nat. Univ., Chonju 561-756, Korea

**Graduate School, Dept. of Mechanical Design, Chonbuk Nat. Univ., Chonju 561-756, Korea

Abstract

The automobile is made up of about twenty thousand parts. Some parts are formed by pressing and combined by spot welding. Among them, steel plate of fuel tank is formed in the metal mold and bending parts are jointed by spot and seam welding. To find weldability conditions of spot welding, clearance between two welding steel plates was made and after spot welding, weldability is evaluated by means of tensile shear load, nugget size and shape. Specimen used in this study was a mild steel of 1.2mm thickness and electrode was Cu-Cr alloy of 6mm diameter. When spot welding started, the clearance of two steel plates was changed 0mm, 3mm and 5mm step by step.

The fractured surface of specimen after this test was observed by Optical Microscope to measure microstructure and nugget shape. When clearance of two specimen was 3mm and 5mm, strength and nugget size was decreased and nugget shape was not clear.

(Received August 27, 2001)

Key Words : Spot welding, Weldability, Clearance, Tensile shear test, Fracture surface, Nugget

1. 서 론

점용접(spot welding)은 금속박판을 접촉시켜 압력을 가한 상태에서 대전류를 통전시킴으로써 얻는 접촉 부분의 저항발열에 의해 극히 짧은 시간의 반응용상태에서 용접이 이루어지는 고온압접법의 일종으로서 용접(fusion welding)과 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting) 등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 강재의 용접 특히 자동차 산업에 널리 쓰이고 있다¹⁻²⁾.

자동차는 약 2만 개의 부품들로 구성되어 있으며 그 중 많은 부품들을 프레스에 의해 성형하거나, 점용접에 의해 결합하기도 한다. 그 중 연료탱크는 금형내에서 강판을 프레스 성형하고 벤딩한 부품들을 점용접과 심용접(seam welding)으로 체결하고 있다. 그리고 연료

탱크는 자동차에 탑재되어 출발, 가속, 제동함에 따라 연료탱크내의 연료가 끊임없이 구동하여 엔드 플레이트(end plate)나 버플(baffle)에 다양한 형태의 하중이 가해지게 된다. 따라서 용접 이음부의 강도는 매우 중요하다. 하지만 생산현장에서는 금형의 노후화로 인해 생산된 부품들의 치수가 정확하게 맞지 않아 두 부품이 정확하게 맞대어지지 않고 부품 사이에 간극(clearance)이 존재하는 상태에서 강제로 부품을 누르면서 점용접을 실시하고 있는 경우가 많이 발생하고 있다. 하지만 아직 이에 대한 연구는 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 자동차 차체, 연료탱크 등의 용접 이음부 강도 및 내구성과 용접 프레스 금형 작업에 의해 제작된 부품들을 조립하여 점용접을 실시하여, 자동차용 연료탱크의 용접부를 모의한 단일 점접점 용접 시험편에 대한 인장-전단 강도시험을 실시하고 파괴된 점용접 시험편의 파면관찰을 통하여 용접 이음부의 간극과 용접 구조물의 강도 성능의 관계를 규명해 프레스

스 금형 설계 치수와 정밀도 등의 설계에 기초 자료로 활용할 수 있도록 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 자동차 부품에서 많이 사용되는 아연도금강판(SECC20/C)으로서 화학적 조성과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

점용접에 의한 시편제조 방법은 두께가 1.2mm인 일반 아연도금강판을 길이 90mm, 폭 25mm로 절단한 후 인장강도 시험편의 표면을 용접하기 전에 아세톤과 에틸 알콜로 깨끗하게 세척하였다. 그런 다음 두 시험편을 24mm 겹친 후 특별히 제작한 지그를 이용하여 강판 사이의 간극을 0mm, 3mm, 5mm로 벌린 후 가압력 (150kgf, 240kgf, 270kgf, 300kgf)과 전류 (6~12kA)를 변화시키면서 점용접을 실시하였으며, 냉각수의 유속은 6 l/min로 일정하게 유지하고 가압시간 30 cycles, 용접시간 12 cycles, 그리고 유지시간은 10 cycles를 일정하게 유지하고 실험하였다. Table

Table 1 Chemical composition of steel sheet

Chemical composition						Coating weight (g/m ²)	
C	Si	Mn	P	S	Fe	Outer side	Inner side
0.0035	0.005	0.08	0.012	0.007	bal.	18.5	18.2

Table 2 Mechanical properties and thickness of steel sheet

Mechanical property			Thickness (mm)
Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	
36.52	18.5	50	1.2

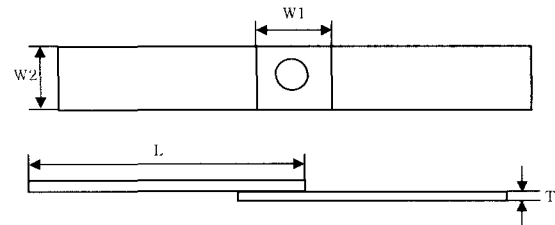
Table 3 Spot welding conditions

Parameter	Welding current (kA)	Clearance (mm)	Electrode force (kgf)	Common condition
Electrode 6mm Cr-Cu	6~12 kA	0mm	150kgf	squeeze time : 30cycles welding time : 12cycles holding time : 10cycles cooling water : 6 l/min
		3mm	240kgf	
		3mm	270kgf	
		5mm	300kgf	

3은 본 실험의 점용접 조건을 나타내고 있다.

본 연구에서 시험편 제작에 사용한 용접기는 단상 교류식 single point 정치식 공압식 용접기이다. 용접시간, 가압시간 및 유지시간은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 가압력은 점용접용 가압력 측정계를 사용하여 측정하였고 전극 팁(tip)은 지름 6mm이며 재질은 Cr-Cu를 사용하였다. 이때 용접조건의 정확성을 높이기 위해 가압력은 점용접용 압력계(CAS C1-5010)를 사용하여 측정, 보정하였다. Fig. 1은 인장-전단 시험편의 형상을 나타내었고 Fig. 2는 실험의 간략도를 나타내고 있으며 Fig. 3은 용접기에 설치된 지그의 모습이다.

이 시험에는 5t 용량의 만능 시험기를 사용하였으며 만능 시험기의 하중범위를 1,500kg으로 하중속도(crosshead speed)를 2mm/min으로 설정해 시험하였고 점용접한 시편을 절단면이 열과 응력에 의해 변형되지 않도록 냉각유를 흘려가면서 천천히 세로로 절단한 후 3% nital로 수초간 부식한 후 용착부의 너깃 형상과 현미경 조직을 광학 현미경으로 조직을 관찰하였으며, 너깃의 크기는 세로로 절단한 시편의 중앙에서 너깃의 크기를 측정했다.



W1 : 25mm W2 : 25mm
T : 1.2mm L : 90mm

Fig. 1 Tensile shear test specimens and cross sectional specimens

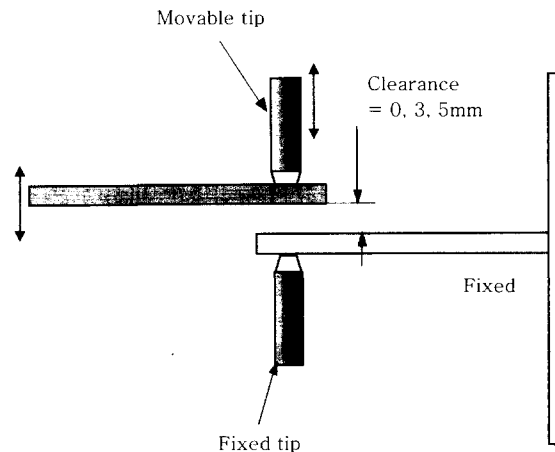


Fig. 2 Schematic diagram of experiment

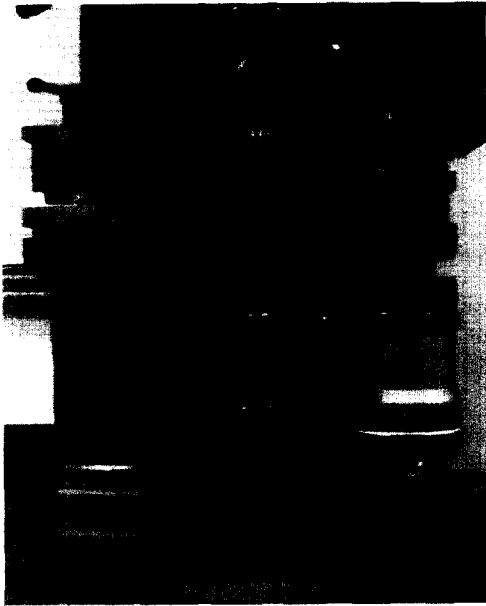


Fig. 3 The jig for experiment

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접 전류와 인장전단 하중과의 관계

저항용접에서는 3대 요소인 용접 전류, 전극 가압력, 통전 시간이 용접에 큰 영향을 미친다. 그 중 용접 전류의 영향이 가장 중요한 이유는 발열량이 전류의 제곱 또는 전류 밀도의 제곱에 비례하기 때문이다³⁾.

용접시 전류가 부족하면 너깃의 충분한 형성이 곤란해져 용접부에 대한 인장전단시험을 실시하면 전단 파단이 생기면서 강도가 떨어진다. 전류가 과대해지면 판 표면에 오목자국이 크게 형성되거나 끌티가 남고 전극 팁의 오염도 현저하게 된다. 또한 중간날림(expulsion)이 생겨서 너깃에 기공이 남기도 한다. 더욱 과대한 전류가 흐르거나 전극과 피용접재 표면에서 과대한 발열이 되면 표면날림(surface flash)까지 생기고 끌티가 심하게 된다⁴⁾.

Fig. 4와 Fig. 5는 가압력이 150kgf와 300kgf일 때 간극(0mm, 3mm, 5mm)에 따른 인장전단하중을 나타낸다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보듯이 시험편의 간극이 0mm, 3mm, 5mm 일 때에도 전류가 증가함에 따라 인장전단하중(tensile shear load)이 증가함을 알 수 있다. 이는 전류의 크기가 증가함에 따라 접합(bond)부의 조직이 점차 강인화에 영향을 주는 미소구조(microstructure)로 변화하기 때문이라고 생각된다. 그러나 9~10 kA의 전류세기에서는 조직의 변태구간이 크기 때문에 거의 같은 인장전단하중을 나타내고 있다.

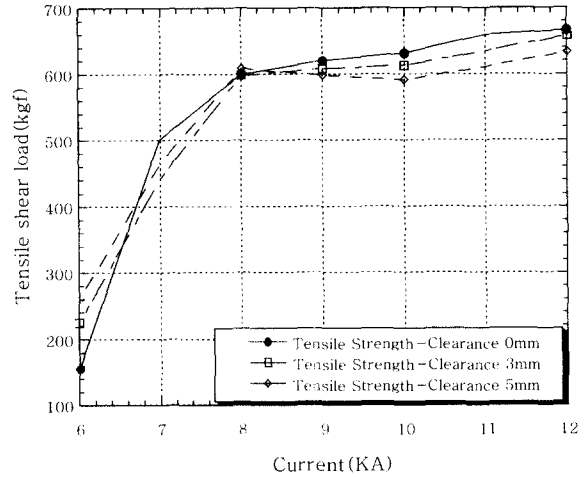


Fig. 4 Tensile shear load at electrode force 150kgf and clearance 0mm, 3mm, 5mm

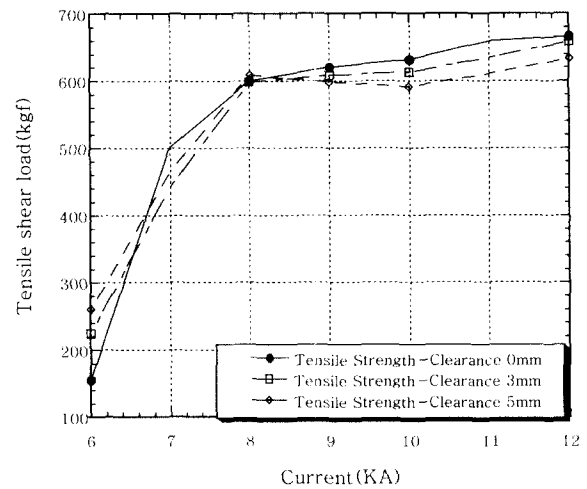


Fig. 5 Tensile shear load at electrode force 300kgf and clearance 0mm, 3mm, 5mm

3.2 인장전단하중과 연신량(elongation)의 관계

Fig. 6은 파단시 전류에 따른 하중과 연신량(elongation)과의 관계를 보이고 있다. 간극이 존재할 때나 그렇지 않을 때 양 조건 모두 파단시 연신량은 증가하고 있다⁷⁾. Fig. 6에서 보는 바와 같이 파단시 연신량은 전류값이 증가할수록 증가하는 경향을 보이게 된다. 가압력이 증가할수록 대체로 연신량이 증가하지만 가압력이 150kgf일 때에는 다른 경향을 보이고 있다. 이는 가압력이 150kgf일 경우 전류가 낮을 때에는 너깃 형성이 어려워 연신하기 이전에 파괴가 발생하는 반면 전류가 높아질 때에는 가압력이 낮아 전류밀도가 높아지므로 줄열의 발생이 크게 증가하고 이로 인해 용접성이 훨씬 좋아지게 된다. 이로 인해 가압력 150kgf에서 연신량이 더욱 급격하게 증가하게 된다.

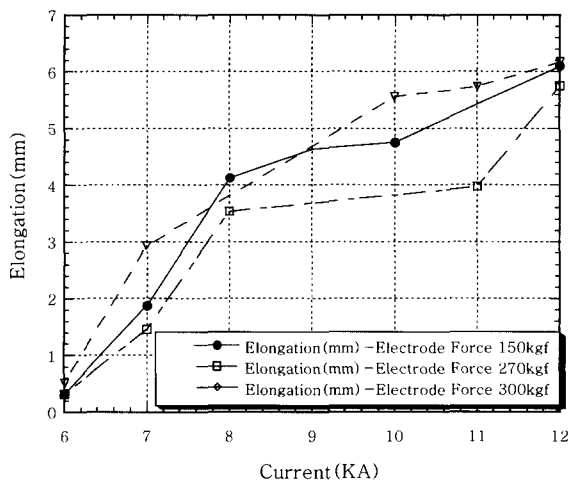


Fig. 6 Relation between welding current and elongation at clearance 5mm

3.3 전극 가압력과 인장전단하중과의 관계

전극 가압력은 파용접재를 고정시키는 역할을 하며, 가압력을 크게 할수록 전극과 모재, 모재와 모재 사이의 계면 접촉성이 좋아지며, 접촉면적을 증가시켜 전류 밀도가 저하되며, 초기 접촉저항이 줄어들어 보다 높은 용접전류를 요구하게 된다. 또한 스파터(splatter)의 발생을 억제하고 용접부 안에 기공과 균열의 발생을 줄여 준다⁵⁾.

따라서 가압력이 낮을수록 계면 사이의 접촉저항은 높아지며 전극 팁과 판사이의 접촉면적도 적게 되어 단위 면적당 발열량이 많아져서 너깃 형성에 유리하지만 가압력이 너무 낮은 경우에는 계면이 점 접촉하게 되어 국부적인 전류밀도의 급격한 상승으로 인하여 중간날림(expulsion) 발생이 용이하게 되어 전단인장강도의 저하를 초래함으로써 최적치의 선정이 필요하다³⁾.

Fig. 4 ~ 5에서 보는 바와 같이 가압력이 150kgf 일 때에는 시험편 사이의 간극이 시험편의 인장전단하중에 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 고전류시 간극이 존재하는 시험편의 인장전단하중은 간극이 없을 때에 비해 낮음을 확인할 수 있다. 저전류시에는 인장전단하중이 간극 5mm-3mm-0mm 순서이고 고전류 일 때에는 반대로 0mm-3mm-5mm이며 가압력 300kgf에서는 간극이 없을 때의 인장전단하중이 항상 크게 나타나고 간극이 있을 때와 없을 때의 인장전단하중의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 가압력이 클수록 간극이 인장전단하중에 끼치는 영향이 작음을 나타낸다.

Fig. 7은 전류가 10kA일 때 가압력과 인장전단하중과의 관계를 나타낸다. 간극이 존재하지 않을 시에는 가압력 270kgf일 때 최고 인장전단하중 값을 나타낸

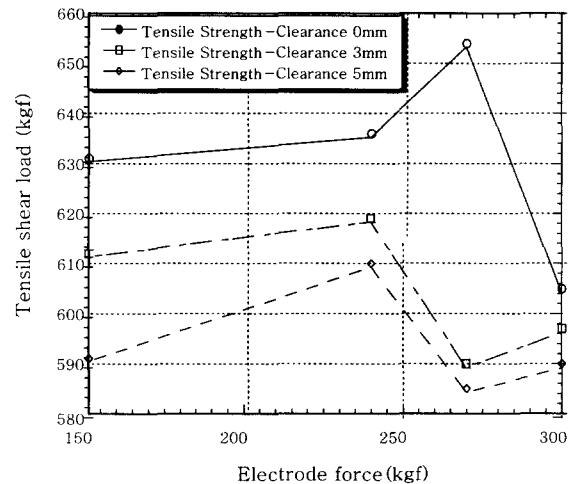


Fig. 7 Relation between electrode force and tensile shear load at clearance 0mm, 3mm, 5mm

데 반해 간극이 3mm, 5mm 일 경우에는 가압력 240 kgf일 때 최고값을 나타낸다. 간극 존재시 가압력 240 kgf 이하에서는 간극이 인장전단하중에 더 큰 영향을 끼쳤고 270kgf 이상에서는 가압력이 큰 영향을 끼쳤음을 알 수 있다.

인장전단하중은 가압력의 증가와 더불어 점차 증가되어 가압력 240kgf를 넘어서 최대치를 나타낸 후 감소되는 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 도금강관의 표면이 불균일하여 가압력이 낮으면 강관 표면의 일부에서만 접촉이 이루어지며 그곳에서 전류가 집중적으로 흐르게 되어 전류밀도의 증가로 비산 발생이 용이하며 너깃형성이 어렵기 때문이다. 한편 가압력이 높으면 접촉면적이 커지게 되므로 전류밀도를 저하시키고 그 결과 너깃 형성이 어려워 강도는 저하된다⁶⁾.

3.4 간극과 인장전단하중과의 관계

Fig. 8은 전류가 10kA 일 때 가압력에 따른 간극과 인장전단하중과의 관계를 나타내고 있다. 가압력 150 kgf와 240kgf에서는 간극이 증가함에 따라 인장전단하중이 감소하고 있다. 그에 반해 가압력 300kgf에서는 간극이 0mm에서 3mm로 증가할 때엔 인장전단하중이 감소하나 간극이 3mm에서 5mm로 간극이 증가할 때에는 오히려 인장전단강도가 증가하고 있으나 그 증가폭이 크지 않다. 가압력이 낮을 경우에는 간극이 인장전단하중에 영향을 미치지 않지만 가압력이 클 경우에는 간극이 인장전단하중에 큰 영향을 끼치지 못함을 확인할 수 있다. 가압력 270kgf에서 너깃의 형상을 비교했을 때 간극이 존재하는 시험편에서 열영향부가 더욱 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

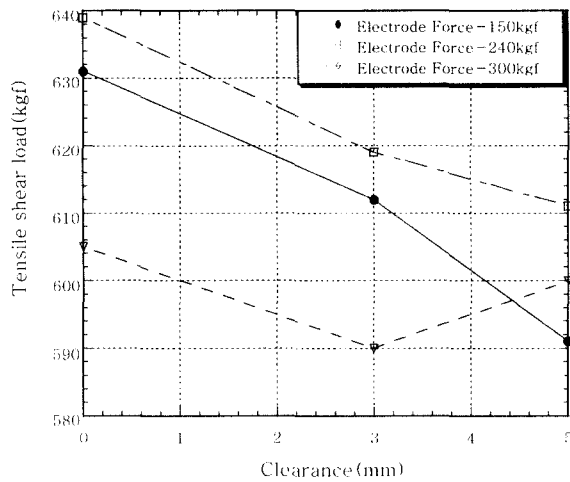


Fig. 8 Relation between tensile shear load and clearance

3.5 너깃의 파괴 형태

시험편의 어느 강판이 파괴되느냐가 문제가 되는 것은 연료 탱크 안쪽의 버플(baffle)이나 엔드 플레이트(end plate)가 찢기거나 떨어져 나가는 경우에는 부품 하나가 떨어지는 것이므로 연료탱크 자체에는 커다란 영향을 끼치지 않지만 바깥쪽이 떨어질 때에는 탱크의 외벽이 찢겨져 나가는 것이므로 더 이상 연료탱크로서의 역할을 수행할 수 없게 되기 때문이다. 이것은 연료탱크의 불량 중 가장 최악의 경우에 해당된다. 따라서 어느 정도 일정한 강도도 요구하면서 탱크의 벽면을 손상시키지 않는 것이 필요하다.

이 실험에서 지그는 아래 쪽 강판을 고정 시키고 위 쪽 강판을 움직여 간극을 형성시킨다. 따라서 간극을 두고 용접을 실시할 때 위쪽 강판은 전극 팁에 눌러 점용접이 되어 굽힘 모멘트를 받게 된다. 인장 시험시 굽힘 모멘트를 받은 강판을 위쪽으로 위치시켜 만능시험기에서 하중을 받게 했다. 그 결과 간극이 있을 때와 없을 때에 거의 같은 결과를 나타냈다. 두 조건에서 모두 60% 정도가 하중을 받은 강판쪽에서 먼저 균열이 발생했다. 따라서 굽힘 모멘트는 시험편 균열 발생 시험편의 위치에 큰 영향을 끼치지 않는다.

Fig. 9는 간극이 5mm이고 가압력이 270kgf, 통전 전류를 6kA, 10kA, 12kA로 가한 상태에서 인장시험을 시행했을 때 시험편의 파괴 모습을 보여주고 있다. 6kA일 때에는 전류의 부족으로 인해 너깃이 충분하게 형성되지 않아 용접부의 전단강도가 약해 용접부가 떨어져 나갔음을 알 수 있고 10kA, 12kA 일 때에는 용접부가 아닌 열영향부(HAZ)부와 용접부 사이에서 균열이 진행되었음을 파괴된 시험편을 통해 확인할 수 있다.

Fig. 10은 가압력이 270kgf 일 때 간극이 5mm일 때 인장 시험편에서 균열이 발생하여 파괴에 이르는 과정을 나타내고 있다. 시험편의 파괴는 균열이 너깃의 상하 부분의 열영향부(HAZ)에서 시작되어 너깃 주위로 전파되어 진행되고 있다. 이는 전류, 가압력 그리고 간극을 변화시켰을 때의 공통적으로 발생하는 현상으로도 다만 전류와 가압력의 다양한 조건으로 인해 너깃과 열영향부 크기가 달라지므로써 그에 따라 균열이 생기는 위치가 변할 뿐이다.

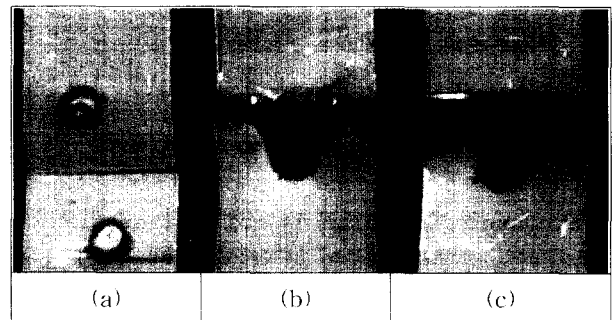


Fig. 9 Fractured specimens at electrode force 270 kgf, clearance 5mm and welding current (a) 6kA (b) 10kA (c) 12kA

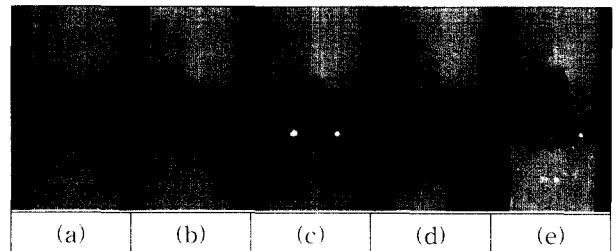


Fig. 10 Fracture process of specimens at electrode force 270kgf and clearance 5mm (a) 500kgf (b) 400kgf (c) 300kgf (d) 150kgf (e) 0kgf

3.6 너깃 형상

점용접부의 단면은 용착부, 열영향부, 압접부로 구성되어 있다. 본 실험에서 사용된 시험편의 두께는 1.2 mm 밖에 되지 않으므로 용착부에서 발생한 열은 거의 전극을 통해 빠져 나간다.

Fig. 11은 가압력이 150kgf 일 때 전류가 6kA에서 시험편의 간극이 5mm일 때 너깃 형상을 현미경으로 촬영한 모습과 크기를 나타내었다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 가압력이 150kgf이고 전류가 6kA인 경우, 간극이 존재할 때 인장전단하중이 더 큰 것으로 나타나고 있고 이것은 Fig. 11에서 보는 바와 같이 조직부의 너깃과 열영향부를 비교해보면 알 수 있다. Fig. 11에서 너깃부의 크기를 비교해보면 간



(a) Clearance : 0mm, Welding current : 6kA, Nugget (×5)



(b) Clearance : 0mm, Welding current : 6kA, nugget (×5)

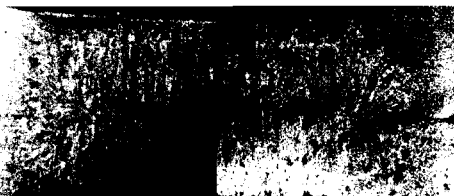
Fig. 11 Nugget shape at welding current 6kA and clearance (a) 0mm (b) 5mm

극이 5mm일 때가 오히려 더 크게 나타나고 있으며 이것이 바로 인장전단하중이 큰 이유임을 알 수 있다.

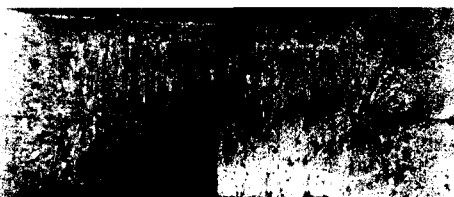
Fig. 12는 용접전류가 10kA이고 간극이 0mm와 5mm 일 때의 너깃 형상을 나타내고 있다. Fig. 12에서 보듯이 간극이 존재할 때 너깃의 크기는 약간 작은 것을 확인할 수 있으며 오히려 열영향부는 더 큰 것을 알 수 있다. 너깃의 크기는 약간 작고 열영향부가 크게 나타남으로서 용접부의 인장전단하중의 크기가 차이가 나는 것으로 여겨진다.

Fig. 13은 간극이 5mm 일 때 용접전류가 10kA와 12kA일 때의 용접부를 비교하고 있다. 용접전류가 10kA 때 보다 12kA일 때가 보다 훨씬 너깃 형상이 뚜렷하고 크기도 크며 형태도 뚜렷한 바둑돌 모양을 나타내고 있다. 이러한 너깃의 크기와 모양으로 인해 용접부의 인장전단하중에 차이가 발생하는 것으로 여겨진다.

그리고 간극이 존재할 때에도 전류가 증가할수록 너

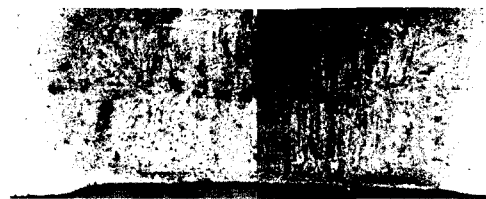


(a) Clearance : 0mm, Welding current : 10kA, Nugget (×5)



(b) Clearance : 0mm, Welding current : 10kA, Nugget (×5)

Fig. 12. Nugget shape at welding current 10kA and clearance (a) 0mm (b) 5mm



(a) Clearance : 5mm, Welding current : 10kA, Nugget (×5)



(b) Clearance : 5mm, Welding current : 12kA, Nugget (×5)

Fig. 13 Nugget shape at clearance 5mm and welding current (a) 10kA (b) 12kA

깃의 크기가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 가압력에 의해 표면의 돌출현상을 관찰할 수 있으며 이 부분이 파괴의 기점이 되고 있다.

4. 결 론

1) 시험편에 간극을 두고 용접을 한 결과 간극을 둔 시험편이 맞대어 용접한 시험편의 인장전단강도보다 낮게 나타났으며 가압력이 클수록 간극이 인장전단강도에 미치는 영향은 줄어들며 전류가 10kA일 때 간극이 없을 때엔 가압력 270kgf, 간극이 존재할 때에는 가압력 240kgf가 최고치를 나타냈다.

2) 시험편 사이에 간극이 존재할 때와 간극이 없는 경우 용접을 한 결과 모두 전류가 증가함에 따라 최대하중을 나타낼 때의 연신도 증가한다.

3) 용접 시험편에 간극이 존재하는 경우 전류가 증가할수록 너깃의 크기가 커지며 간극이 없는 용접 시험편과 비교할 때 대체로 너깃은 발달이 덜 되었음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. O. P. Gupta : Journal of Manufacturing Science and Engineering, (1998)
2. Jun Soo Lee and Eog Yong Chin : Effect of Weldability Conditions on Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater. **34-2** (1996), 261-269 (in Korean).
3. I. C. Kang : Modern Welding Engineering, (1997), 287 (in Korean)
4. S.M. Cho : Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, J. of KWS, **15-2** (1997), 2-8 (in Korean)

5. Welding Handbook, Section 2, A.W.S., Sixth Edition, 26
6. Won Cheol Shin, Joon Key Min and Chang Che Shur: A Study on the Spot Weldability of Hot-dip Galvannealed Steel Sheet, Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater. **28-11** (1996), 1010-1015 (in Korean).
7. Yeon Chel Kang, Dae Young Kim, Wan Ki Kim and Sug Won Kim : The Study on Microstructures and Mechanical Properties of Mild Steel Joined with Various Spot Welding Conditions, Journal of KWS, **18-1** (2000), 52-58 (in Korean).