

점용접 조건에 의한 연강의 미세조직 및 기계적특성에 관한 연구

강연철* · 김대영* · 김완기* · 김석원**

*전북대학교 공과대학 금속공학과 대학원

**전북대학교 신소재공학부, RASOM, RIAMD

The Study on Microstructures and Mechanical Properties of Mild Steel Joined with Various Spot Welding Conditions

Yeon Chel Kang*, Dae Young Kim*, Wan Ki Kim* and Sug Won Kim**

*Graduate School, Dept. of Metall. Eng., Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

**RASOM, RIAMD, Chonju 560-756, Korea

Abstract

Spot welding, namely a kind of electric resisting welding has been used widely in field of automobile and aircraft industries because of easiness to apply.

Specimens used in this study was a mild steel of 1.2mm thickness and the electrode was a Cu-Cr alloy of 6mm diameter

The surface sheared of specimens after testing of tensile shear was observed by SEM(scanning electron microscope) after ultrasonic cleaning for 10min., and microstructures and grain size of all specimens were measured with using of O.M.(Optical microscope).

By the means of measurement and observation of tensile shear load, fatigue strength and sheared surface, the weldability of spot welding was evaluated.

when tensile shearing testing, fracture starting point in all specimens was took place at the bond between HAZ(Heat affected zone) and nugget. With increasing in number of layers, fatigue strength was decreased. With increasing in electric current, grain size in the HAZ became more fine.

(Received April 28, 1999)

Key Words : Spot welding, Resistance welding, Tensile shear test, Fatigue strength, Sheared surface, Grain size

1. 서 론

점용접은 용접(fusion), 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting)등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기 저항용접 방법으로 박판 강재의 용접, 특히 자동차산업분야를 비롯하여 항공기 산업 가전산업분야에 이르기까지 널리 이용되고 있다¹⁻³⁾. 이러한 저항 점용접법은 압력을 가한 상태에서 용접부에 전류를 흐르게 하여 금속의 고유저항과 금속접촉면에서 발생하는 저항열인 주울열(Joule's heat)을 이용하여 접합하는 방

법이다^{5,6)}. 점용접의 접합성은 모재두께, 미세조직 및 기계적 성질에 의존한다⁴⁾. 또한 용접조건의 영향을 크게 받는다.

지금까지 소형차의 제조에서는 2겹 점용접이 많이 사용되고 있다. 그러나 대형버스 제조에는 여러겹침의 용접이 필요하나 현재 3겹 및 4겹 점용접 조건 및 그에 따른 내구성 평가에 대한 실험적 연구가 미비하여 적정 용접조건이 명확하지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 3겹 및 4겹 점용접의 적정 용접조건 및 내구성이 가장 우수한 용접의 조건을 규명 하기위하여, 먼저 2겹의 용접 조건을 실험실적으로 규명하였다. 이를 근거로 3겹 및 4겹 점용접의 적정 조건을 규명하기

위하여 용접 조건이 미세조직 변화, 인장전단강도 및 파괴의 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 체계적으로 연구 검토 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 연구에 사용된 시편은 두께 1.2mm로써 일반 냉연강판(SPC)을 사용하였으며 시편의 조성은 Table 1과 같다. 또한 사용한 전극은 dome형태의 선단지름 6mm인 Cu-Cr전극을 사용하였다.

Table 1 The chemical compositions of base metal(wt %)

Elements Nomenclature	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Fe
SPC	0.043	0.019	0.424	0.079	0.007	0.026	0.047	bal.

본 실험에서 사용한 점용접 장치는 150kVA인 DC 용접기로써 최대 가압력은 800kgf인 공압식 점용접기이며, 용접전류 및 통전시간을 제어하는 제어장치, 용접부를 가압하는 가압장치 등으로 구성되어 있다. 또한 용접도중 전극팁 온도의 상승으로 인한 수명단축을 방지하기 위해서 냉각장치가 부착되어 있다.

시편은 일반냉연강판(SPC)을 길이 90mm, 폭 24mm로 절단하여 용접모재로 사용하였다. 용접조건은 초기 가압시간 30사이클(cycle), 용접시간 12사이클 그리고 유지시간은 10사이클로 일정하게 유지하고 가압력과 전류를 변화시키면서 2겹, 3겹 및 4겹 점용접을 실시하였다. 이때 냉각수의 유속은 8 l/min로 일정하게 유지하였으며 가압력은 점용접용 가압력계를 사용하여 측정하였다. Table 2, Fig.1 및 Fig.2는 각각 시편제작에 사용한 용접조건, 시편제작 모양 및 용접 사이클의 모식도이다.

2.2 미세조직 관찰 및 기계적 성질 측정

인장전단하중 시험은 2겹, 3겹 및 4겹 점용접한 재

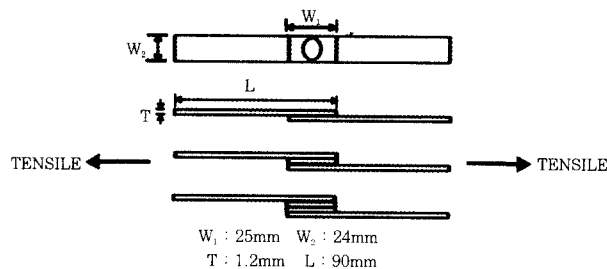


Fig. 1 The sketch of specimens for tensile shear test

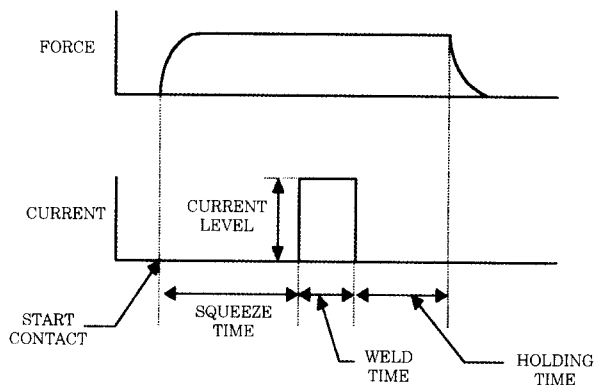


Fig. 2 Schematic diagram of the welding process

료를 15ton 용량의 다목적 시험기를 사용하여 하중범위 1,500kg, cross head speed 2mm/min으로 설정한 후 행하였다.

인장시험시 파괴 위치 및 용접부의 조직변화를 관찰하기 위하여 시편을 5% nital로 수 초간 부식한 다음 SEM 및 O.M.으로 관찰하였다.

전단면은 인장전단시험후 전단면으로부터 시편을 절단 후 초음파로 10분간 세척한 다음 SEM을 이용하여 관찰하였다.

너깃크기 측정은 시편을 세로(시편길이방향)로 절단한 후 상분석기를 이용하여 너깃부 중앙을 가로질러 측정하였다.

기계적인 성질을 평가하기 위하여 경도는 너깃(nugget)부 중앙을 가로 질러 비커스 경도계를 이용하여 최소 5회 측정후 평균값을 구하였다. 피로시험은 최대하중을 100에서 300kgf까지 변화시키면서 행하였다.

Table 2 Spot welding conditions in this study

Parameter Electrode	Layers	Welding electric current(kA)	Applied electrode forces	Common conditions
Cu-Cr alloy	2 Layers	6~12kA	240kgf~300kgf	squeeze time:30cycles welding time:12cycles holding time:10cycles water cooling rate: 8 l/min
	3 Layers			
	4 Layers			

3. 결과 및 고찰

3.1 기계적 성질에 미치는 전류세기의 영향

저항용접에서 전류, 가압력, 통전시간이 용접성에 크게 영향을 준다. 전류의 영향이 중요한 이유는 발열량이 전류의 제곱 또는 전류밀도의 제곱에 비례하여 증가하기 때문이다⁵⁾. 용접시의 전류가 부족하면 너트의 충분한 형성이 곤란해져서 용접부의 전단강도가 떨어진다. 반면에 전류가 과대해지면 모재 판표면에 압흔이 크게 형성되고 전극팁 오염도 현저하게 된다. 또한 중간날림(Expulsion)이 생겨서 너트에 기공이 발생하기도 한다. 더욱 과대한 전류가 흐르거나 전극과 모재표면에서 과대한 발열이 생기면 표면날림까지 발생하게 된다⁶⁾.

Fig.3의 (a)와 (b)는 각각 3겹 및 4겹 용접된 시편의 인장강도에 미치는 전류의 영향을 나타내고 있다. 3겹 및 4겹의 시편 모두 전류가 증가함에 따라 인장전단 하중이 증가하였다.

Fig.4는 3겹일 경우 전류와 인장전단하중 측정시 최대하중을 가질 때의 연신량과의 관계를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 최대하중값을 가질 때의 연신은 전류 크기가 증가함에 따라 비례적으로 증가한다.

Fig.5는 4겹 용접시편의 너트부를 가로질러 측정 한

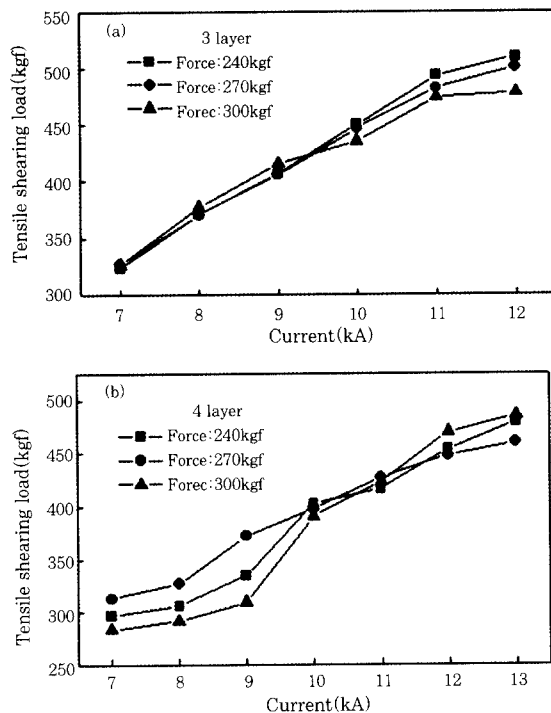


Fig. 3 Relation between welding current and tensile shear load (a) 3 layers (b) 4 layers

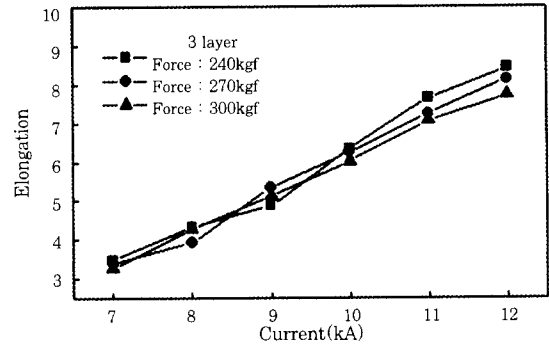


Fig. 4 Relation between welding current and elongation at maximum tensile sheared load (Welding condition: 3 layer)

미소 경도값을 나타낸 것이다. 너트부의 경도는 전류가 낮을수록 경도값이 높게 나타났다. 이는 너트부에서 전류가 8kA인 경우 13kA인 경우보다 입열량이 적기 때문에 상대적으로 용융량이 적어져 너트부에서의 냉각속도가 빨라짐으로써 경도가 높게 나타나는 것으로 사료된다. 또한, 전류 증가에 따라 너트의 크기가 증가된 것을 볼 수 있다. 이처럼 전류의 증가에 따라 너트부가 크게 되는 것은 입열량이 전류의 제곱에 비례하여 증가하기 때문이다.

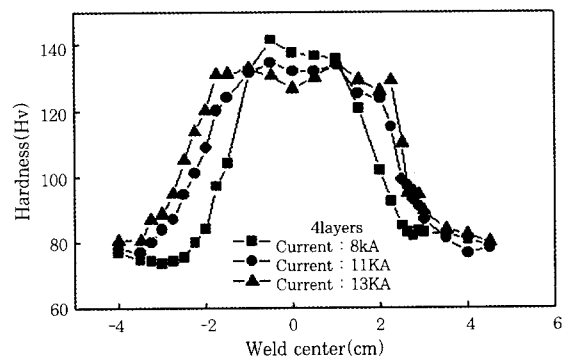


Fig. 5 Hardness(Hv) vs. different welding currents in nugget (welding condition: 4 layers)

3.2 기계적 성질에 미치는 겹침수의 영향

Fig. 6은 전극의 가압력 270kgf에서 2겹, 3겹 및 4겹 겹침수에 따른 전류와 하중과의 관계를 나타내고 있다. 가압력 270kgf에서 2겹의 경우가 3겹 및 4겹의 경우보다 더 높은 인장전단 하중값을 나타내고 있으며 인장전단 하중값이 일정하여지는 전류는 겹침수가 2겹에서 4겹으로 갈수록 증가하고 있다. 가압력 270kgf에서 2겹의 경우가 3겹 및 4겹의 경우보다 더 높은 인장전단 하중값을 나타내는 이유는 2겹의 경우가 3겹이나 4겹보다 용융부의 크기가 작기 때문에 그만큼 냉각속도가 빨라짐으로 인해서 HAZ와

Weldment사이의 bond region의 결정립 크기가 작아지기 때문에 사료된다. 따라서, 4겹 점용접에서 2겹의 점용접에서와 같은 인장전단 하중값을 얻기 위해서는 상대적으로 높은 전류가 필요함을 알 수 있다.

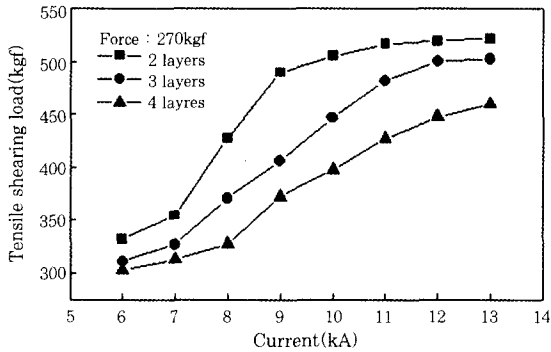


Fig. 6 Welding currents vs. tensile shearing load at 270 kgf of applied electrode force

Fig. 7은 일정한 전류에서 시편을 2겹, 3겹, 4겹으로 변화시킴에 따라 너깃부 중앙으로부터 거리에 따른 경도분포를 나타내고 있다. 2겹일 경우가 3겹 및 4겹일 경우보다 너깃부의 경도가 높게 나타나며 HAZ에서의 경도 기울기는 4겹일 경우가 3겹 및 2겹일 경우보다 작게 나타난다. 냉각속도는 판재의 두께와 용융부의 양에 의존한다. 그러나 이 경우 2겹일 경우가 3겹 및 4겹의 경우보다 너깃의 경도가 높게 나타나는 이유는 판재 두께에 의한 냉각효과 보다는 용융부의 양에 의해 냉각속도가 더 의존됨으로써 2겹일 경우가 3겹 및 4겹에 비해 상대적으로 냉각속도가 빨라졌기 때문으로 생각된다. 또한 겹침수가 2겹에서 4겹으로 증가함에 따라 HAZ의 경도 기울기가 감소되는 이유는 일정한 입열량 하에서 4겹일 경우가 2겹일 경우보다 용융부의 넓이(시편두께방향)가 커짐으로 인해서 상대적으로 더 많은 용융부의 열영향을 받았기 때문으로 사료된다.

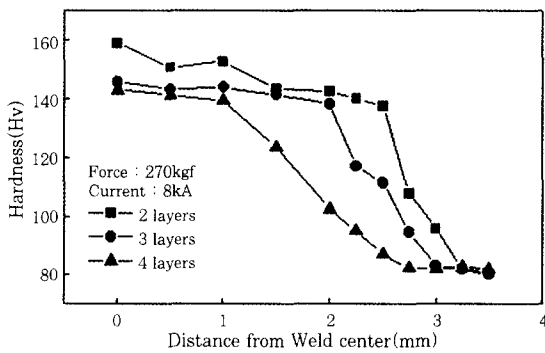


Fig. 7 Relationship between hardness and various layer under welding conditions (electrode force: 270kgf, current: 8kA)

Fig. 8은 270kgf에서 겹침수가 2겹, 3겹, 4겹으로 변함에 따라 전류와 너깃크기(nugget size)와의 관계를 나타내고 있다.

겹침수가 2겹에서 3겹 4겹으로 증가함에 따라 너깃의 크기가 감소하고 있으며 특히, 4겹의 경우에 9kA까지는 너깃의 크기가 2겹 또는 3겹보다 상당히 작음을 알 수 있다. 이는 4겹의 경우 두께가 두껍기 때문에 입열량이 2겹일 경우보다 상대적으로 적어져 내부까지 이상적으로 용융되지 않았기 때문이다. 즉, 전류가 9kA이하일 경우 이상적인 바둑돌 모양의 너깃이 형성되지 않고 표주박 모양의 너깃이 형성된다.

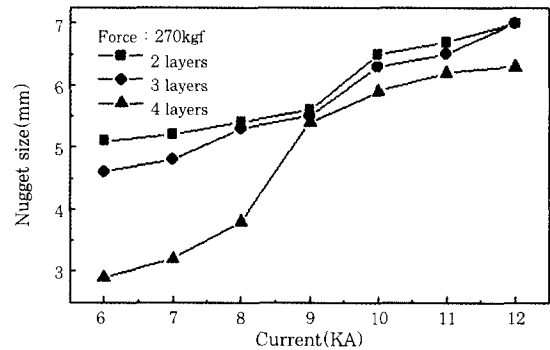


Fig. 8 The change of nugget size with various layer at 270 kgf of applied electrode force

Fig.9은 270kgf, 9kA에서 겹침수가 2겹, 3겹, 4겹으로 변함에 따라 하중과 피로수명의 관계를 나타낸 것이다. 겹침수가 2겹에서 4겹으로 증가함에 따라 피로수명이 감소한다. 이는 4겹의 경우가 2겹의 경우보다 모재의 두께는 두꺼워 지지만 상대적으로 용융량이 많아짐으로써 4겹의 경우가 2겹의 경우보다 냉각속도가 감소하게 된다. 따라서 HAZ와 Weldment사이의 bond region의 결정립 크기가 상대적으로 조대해지기 때문으로 사료되며, 이것은 그림 7에서 설명한 것과 일치함을 알 수 있다.

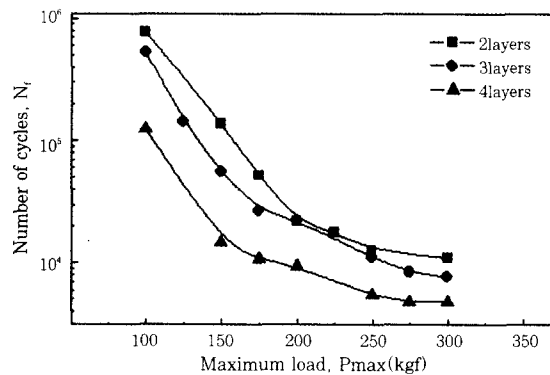


Fig. 9 Relation between maximum load and numbers of cycle reached to failure(current 10kA, electrode force: 270kgf)

3.3 기계적 성질에 미치는 가압력의 영향

전극 가압력은 저항 용접에 있어서 자울작용의 지배 인자로서, 용접전류를 크게 하면 그에 따라 가압력도 크게 하여야 한다^{5,6)}. 그런데 초기부터 낮은 가압력을 가하거나 통전 도중에 가압력이 낮아지는 경우는 가열 되어 팽창하는 용융 금속이 외부로 튀어나가는 것을 억제하지 못하여 너깃의 성장을 저해하는 요인이 된다. 이와 같이 가압력이 낮거나 통전중에 갑자기 가압력이 낮아지면 용융 금속의 날림이 쉽게 발생하여 기계적 성질을 저해한다. 반면에 가압력이 지나치게 크면 통전면적의 증가로 전류밀도가 낮아져 발열량이 감소함으로써 인장전단 하중이 감소한다^{4,6,7)}. 즉, 인장전단 하중값에 미치는 가압력은 가압력이 감소함에 따라 발열량이 증가하지만 전류에 비해 가압력이 너무 낮으면 용융금속 등의 날림이 발생한다. 그러나 전류에 비해 가압력이 너무 커지면 용융금속 등의 날림은 발생되지 않으나 과도한 오목자국 또는 발열량 감소로 인하여 인장전단 하중값이 감소한다.

Fig.3로 부터 가압력의 영향을 고찰하면 Fig.3(a) 3점의 경우에 인장전단 하중값은 9kA이하에서 300kgf, 270kgf, 240kgf 가압력의 순서로 높게 나타나며, 10kA이상에서는 가압력이 240kgf, 270kgf, 300kgf 순서로 높게 나타나고 있다. 이와 같이 전류가 9kA이하의 경우 가압력이 240kgf일 때 인장전단 하중값이 가장 낮게 나타나는 이유는 가압력이 240kgf일 때 발열량은 300kgf보다 높지만 용융 금속 등의 날림이 발생하기 때문이고 10kA이상의 경우 가압력이 300kgf, 270kgf, 240kgf 순서로 인장전단 하중값이 낮아지는 이유는 300kgf의 경우 과도한 오목자국 또는 발열량이 감소하였기 때문으로 생각된다.

Fig.3(b)에서 알 수 있듯이 4점의 경우에 전류가 10kA이하일 때 가압력이 270kgf, 240kgf, 300kgf 순서로 인장전단 하중값은 커지며 11kA 이상 일 때는

가압력이 300kgf, 240kgf, 270kgf 순으로 인장전단 하중값이 커지고 있다. 이와 같이 전류가 10kA 이하 일 경우에 가압력이 270kgf일 때 가장 큰 인장전단 하중값을 나타내는 이유는 가압력이 270kgf일 때 가압력이 240kgf 경우보다 용융 금속의 날림이 발생하지 않고 300kgf 경우보다는 발열량이 증가하기 때문으로 생각되며 11kA이상의 경우에 가압력이 300kgf 일 때 가장 높은 인장전단 하중값을 나타내는 이유는 300kgf 가압력의 경우가 상대적으로 발열량은 적지만 날림이 발생되지 않기 때문으로 사료된다.

3.4 용접부의 조직관찰

Photo 1은 전류가 6kA에서 8kA로 변함에 따라 그리고 겹침수가 2점, 3점 및 4점으로 변함에 따른 거시 조직을 나타내고 있다. 2점의 경우에는 저전류(6kA)에서도 이상적인 바둑돌 모양의 너깃이 형성되나 겹침수가 2점에서 4점으로 증가함에 따라 표주박 모양의 너깃이 형성된다. 이는 4점의 경우가 2점의 경우보다 두께가 두꺼워져 재료 내부까지 충분히 용융되지 않았기 때문으로 사료된다. 상대적으로 고전류(8kA)에서는 2점의 경우 위에서 언급한 것과 마찬가지로 바둑돌 모양의 너깃이 형성되나 겹침수가 4점일 경우에는 너깃의 형상이 바둑돌 모양이 아닌 사각형 모양으로 형성되며 더 높은 전류에서도 사각형 모양의 너깃이 형성된다.

Photo 2는 가압력 270kgf, 겹침수 3점인 시편을 인장전단시험 후 전단 위치를 관찰한 광학 현미경 사진이다. 전단은 전류가 6kA, 13kA인 용접부의 전단 후 현미경 사진이다. 전단의 시작점이 두 경우 모두 HAZ와 너깃 사이에서 일어났음을 알 수 있었다. 그리고 전단의 통로는 너깃의 주위를 통과하여 전단 되었음을 알 수 있다. 이 원인은 너깃주위는 냉각속도의 영향으로 부분적으로 경한 조직인 마르텐사이트와 인성

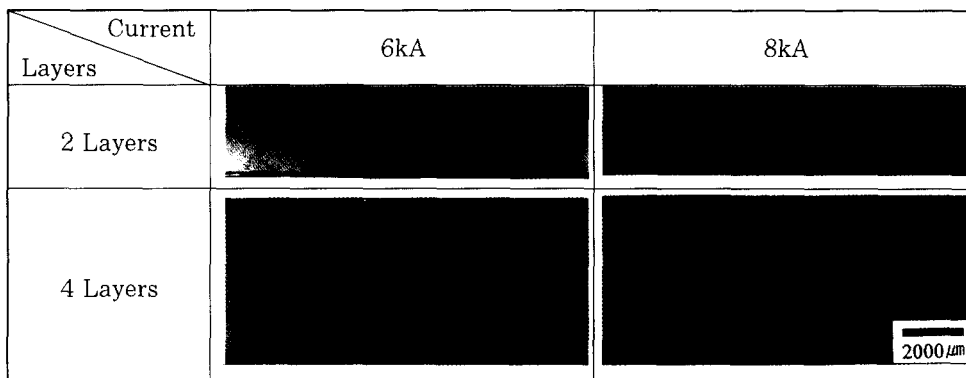


Photo 1 Macrographs of nugget zone

이 낮은 취성 조직이 혼존하여 너깃보다 전단력이 적기 때문에 생각된다. 미세조직의 변화는 사진에서 알 수 있듯이 너깃부에서 HAZ부 쪽으로 미세한 조직이 형성되어 있으며 그 조직은 페라이트와 부분 변태된 퍼얼라이트 조직으로 이루어져 있음을 알 수 있다.



(a) 6kA



(b) 13kA

Photo 2 Optical micrographs showing tensile sheared point after tensile shearing test (3 layer, 270kgf)

Photo 3는 가압력 270kgf 겹침수 3겹인 시편을 제작하여 인장시험 후 파면을 관찰한 SEM사진이다. 파면은 덤플파면 양상을 보이고 있으며, 전류값이 6kA에서 13kA로 증가될수록 dimple이 더욱 미세해짐을 알 수 있다.

4. 결 론

연강(SPC)재료로 전류, 가압력 및 겹침수를 변화시켜 점용접을 실시한 다음 용접부의 용접특성 및 기계적인 성질에 관하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전류값이 증가함에 따라 연신 및 인장전단하중은 증가하였다. 반면, 너깃부에서의 경도는 전류값이 증가함에 따라 감소하였다.
2. 일정 가압력 및 전류값에서는 겹침수가 2겹에서 4겹으로 증가함에 따라 인장전단 하중값 및 피로수명은 감소하였다.
3. 3겹의 경우 9kA이하에서는 300kgf의 가압력,



(a) 6kA



(b) 9kA



Photo 3 SEM micrographs of sheared surface after tensile shearing test (3 layers, 270kgf)

10kA이상에서는 240kgf의 가압력이 가장 높은 인장전단 하중값을 나타냈다. 또한 4겹의 경우 10kA 이하에서는 270kgf의 가압력, 10kA 이상에서는 270kgf의 가압력이 가장 높은 인장전단 하중값을 나타냈다.

4. 인장전단 시험시 전단은 HAZ와 너깃부 주위에서 일어났다.

후 기

본 연구는 1998년도 전북대학교 자동차 기술연구소의 지원으로 수행되었음에 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. O. P. Gupta, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 120 (1998)
2. Jun Soo Lee and Eog Yong Chin, Effect of Welding

- Conditions on Spot Weldability of Galvanized Steel Sheet, J. Kor. Inst., Met. & Mater. 34 (1996) 2
3. By M. J. Kargoulis ,A Nut-and-Bolts Approach to the Control of Resistance Spot Welding, Welding Journal, July (1994) 27
 4. BY P. K. Ghosh, P. C. Gupta, Ramavar and B. K. Jha, Weldability of Intercritical Annealed Dual-Phase Steel with the Resistance Spot Welding Process, Welding Reserch Supplement, Jan.(1991) 7
 5. Kang. I.C., Moden Welding Enginnering, (1997) 287
 6. S. M. Cho, Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results J. of KWS, 15(1997) 2
 7. Won Cheol Shin, Joon Key Minn and Chang Che Shur, A Study on the Spot Weldability of Hot-dip Galvannealed Steel Sheet, J. Kor. Inst. Met.& Mater., 28 (1990) 11
 8. Ji-Woong Jung, A study on the Evaluation of Weldability and the Optimum Welding Conditions in Spot Welding of sheet Steel, Chonbuk univ., 1998