

점용접 조건에 의한 연강의 미세조직 및 파괴거동에 관한 연구

The Study on Microstructure and Fracture Behavior of Mild Steel Welded with Various Welding Conditions

金錫元* . 姜然喆 . 金大玲 . 金完基

*전북대학교 공과대학 신소재공학부

전북대학교 공과대학 신소재공학부 대학원

S. W. Kim*, Y. C. Kang, D. Y. Kim and W. K. Kim

*Faculty of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 560-756, Korea

Graduate school, Chonbuk National University, Chonju, 560-756, Korea

1. 서 론

점용접은 용접(fusion), 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting)등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 박판 강재의 용접, 특히 자동차산업분야를 위시하여 항공기 산업, 가전산업분야에 이르기까지 널리 이용되고 있다¹⁻³⁾. 특히, 현재의 국내·외 자동차 생산 공업분야에 있어서 제조접합방법으로 Spot welding manufacturing process이 가장 많이 사용되고 있다. 저항 spot용접의 접합성은 plate의 두께, base metal의 조직 그리고 그것의 기계적 성질에 의존한다⁴⁾. 이러한 저항 용접법은 압력을 가한 상태에서 용접부에 전류를 흐르게 하여 금속의 고유저항과 금속끼리의 접촉면에서 발생하는 주울열(Joule's heat)을 열원으로 사용하여 접합하는 방법이다⁵⁻⁶⁾.

지금까지 소형차의 제조에서는 2겹 spot용접이 많이 사용되고 있다. 그러나 대형버스 제조에는 Multiple spot welding이 필요하나 현재 3겹 및 4겹 spot용접의 조건 및 그에 따른 내구성 평가에 대한 실험적 연구가 미비하여 적정 용접조건의 규명이 확실하지가 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 3겹 및 4겹 spot 용접의 적정 용접조건 및 내구성이 가장 우수한 용접의 조건을 찾기 위하여 먼저 2겹의 용접 조건을 실험실적으로 규명하고 이를 근거로 3겹 및 4겹 spot용접의 적정 조건을 조직적인 변화와 관련지어 spot용접 조건의 기초를 마련하고 자동차 생산 현장에 공업적인 기술자료로 제공하고자 한다. 아울러, 현재 spot용접된 제품의 사용 중 파괴가 일어나는 것에 대한 명확한 규명이 없는데, 본 실험에서는 spot 용접시편의 파괴 거동에 대한 명확한 규명을 하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 두께 1.2mm로써 자동차에서 많이 사용되는 일반냉연강판(SPC)을

Table 1 Spot welding conditions in this study

parameter Electrode	Layers	Welding current(KA)	Electrode force	Common conditions
Cr-Cu	2Layers	6~13kA	240kgf~300kgf	squeeze time:30cycles welding time:12cycles holding time:10cycles water cooling rate: 8 ℓ/min
	3Layers			
	4Layers			

사용하였다. 또한 사용한 전극팁은 현재 자동차 회사에서 가장 많이 쓰이는 dome형태의 선단지름 6mm인 Cr-Cu의 전극을 사용하였다. 시편제작은 일반냉연강판(SPC)을 길이 90mm, 폭 24mm로 절단하여 25mm를 겹친 후 Cr-Cu의 전극을 사용하여 용접하였으며, 용접조건은 초기 가압시간 30cycles, 용접시간 12cycles 그리고 유지시간은 10cycles로 일정하게 유지하고 가압력과 전류를 변화시키면서 2겹, 3겹 및 4겹 spot용접을 행하였다. 이때 냉각수의 유속은 (8 l/min)로 일정하게 유지하였으며 가압력은 점용접용 가압력계를 사용하여 측정하였다. Table 1과 Fig.1은 시편제작에 사용한 용접조건 및 용접 싸이클의 모식도를 나타내고 있다.

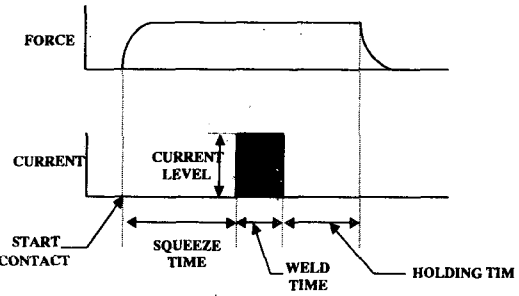


Fig.1 Schematic diagram of the welding process

3. 결과 및 고찰

저항용접의 3대요소는 전류, 가압력, 통전시간이며 이 중에서 전류의 영향이 가장 크다. 저항용접 조건 중에서 전류의 영향이 가장 큰 이유는 발열량이 전류의 제곱 또는 전류밀도의 제곱에 비례하여 커지기 때문이다⁵⁾.

용접시의 전류가 부족하면 너깃의 충분한 형성이 곤란해져서 용접부에 대한 인장전단시험을 실시할 경우 전단파면(Shear fracture)이 생기면서 강도가 떨어진다. 반면에 전류가 과대해지면 판표면에 오목자국이 크게 형성되거나 끝티가 남고 전극팁 표면의 오염도 현저하게 된다. 또한 중간날림(Expulsion)이 생겨서 너깃에 기공이 남기도 한다. 더욱 과대한 전류가 흐르거나 전극과 피용접재 표면에서 과대한 발열이 되면 표면날림까지 생기고 끝티가 심하게 된다⁶⁾.

Fig. 2은 3겹 용접된 시편의 인장강도에 미치는 전류의 영향을 나타내고 있다. 전류가 증가함에 따라 인장전단 하중(Tensile Shearing load)이 증가한다. 이는 전류의 크기가 증가함에 따라 HAZ부의 조직이 점차 강인화에 영향을 주는 미세조직으로 변화하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 3는 3겹일 경우 spot용접된 시편의 최대하중을 가질 때에 전류와 변위와의 관계를 보이고있다. 그림에서 보는 바와 같이 최대하중에 도달했을 때 변위는 전류의 크기가 증가함에 따라 비례적으로 증가한다. 이는 전류가 증가함에 따라 HAZ의 온도가 전류가 낮을 때 보다 상대적으로 높아짐으로써 HAZ의 grain size가 미세해져 변위값이 증가하는 것으로 사료된다. 따라서 전류의 증가는 HAZ의 결정립 미세화 효과에 의한 최대인장전단강도 상승 및 변위의 증가를 야기 시켜 재료의 우수한 기계적 성질을 나타낸다

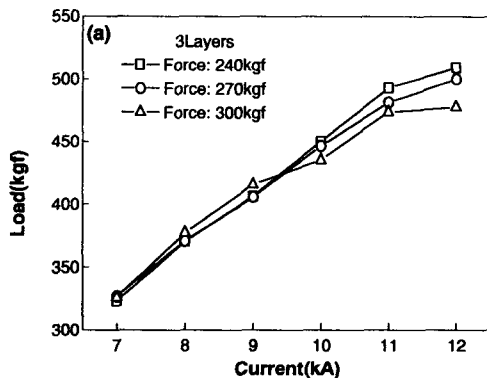


Fig. 2 The relationship between welding currents and tensile shearing load

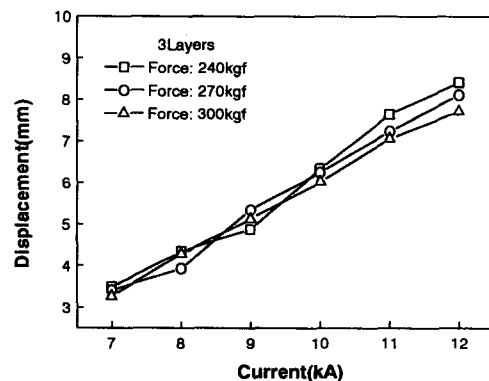


Fig.3 The relationship between welding currents and displacements

Fig. 4은 4겹 용접시편의 nugget부를 가로로 가로질러 측정된 미소 경도값을 나타낸 것이다. nugget부의 경도는 전류가 낮을수록 경도가 높게 나타난 반면 HAZ에서는 전류가 높을수록 경도값이 높게 나타났다. 또한 전류의 증가에 따라 nugget의 크기가 증가되었다. 이는 nugget부에서 전류가 8kA인 경우 13kA인 경우보다 입열량이 적어져 상대적으로 용융량이 적어지고 냉각속도가 빨라짐으로 인해서 경도가 높게 나타나는 것으로 사료되며, HAZ에서는 전류가 8kA로 낮을 경우 HAZ의 조직이 미세화 되는 온도구역까지 증가되지 않았기 때문에 낮은 경도값을 나타내는 것으로 사료된다. 또한, 전류의 증가에 따라 nugget부가 크게 되는 것은 입열량이 전류의 제곱에 비례하여 증가하기 때문이다.

Fig 4에서처럼 HAZ의 경도 구배는 전류가 증가 할수록 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 2 및 3에서 설명한 내용과 일치하는 것으로 13kA의 경우가 6kA보다 입열량이 증가하기 때문에 그만큼 냉각속도의 증가로 인하여 경도 구배가 증가된 것으로 사료된다.

Fig. 5은 3겹 용접시편의 HAZ에서 grain size에 미치는 전류의 영향을 나타내고 있다. HAZ에서의 grain size는 비커스 경도계로 경도를 이용하여 Hv가 100인 지점에서부터 모재 방향으로 0.35mm까지의 grain size를 측정했다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 가압력이 240kgf이고 전류가 6kA일 경우 grain size가 20 μ m이었으나 전류가 12kA로 증가되었을 경우 13 μ m으로 미세화 되었다. 그리고 전류가 10kA 이상부터는 grain size가 거의 일정해짐을 볼 수 있다. 270kgf, 300kgf의 가압력에서도 유사한 양상을 나타낸다. 이는 전류가 증가함에 따라 10kA까지는 HAZ부에서의 온도가 미세화되는 지역까지 증가되다가 전류가 10kA가 되면 입열량의 증가로 조직이 조대화 되는 온도까지 상승되었기 때문으로 사료된다.

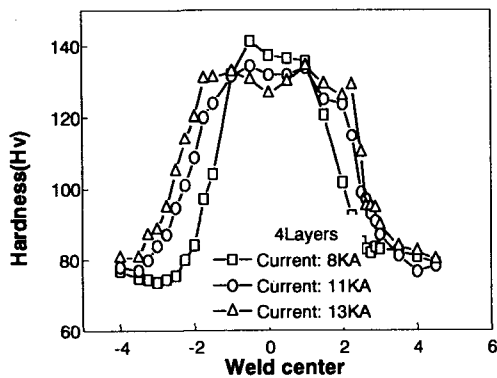


Fig. 4 The relationship between hardness and welding currents

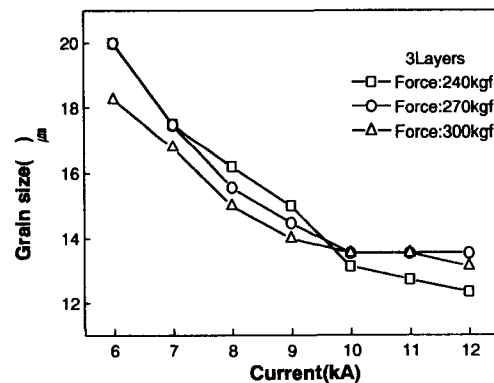


Fig. 5 The relationship between grain size and current in HAZ

4. 결 론

연강(SPC)을 재료로 전류, 가압력 및 겹침수를 변화시켜 점용접을 실시한 다음 용접부의 내구성 평가에 관해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전류값이 증가함에 따라 변위 및 인장전단하중은 증가하였다. 반면, nugget부에서의 경도는 전류값이 증가함에 따라 감소하였다.
2. 인장시험시 파괴는 관찰한 모든 시편에서 HAZ부와 nugget부 사이에서 일어났다.
3. HAZ부의 grain size가 작을수록 인장전단하중값은 증가하였다.

참고 문헌

- [1] O. P. Gupta, "Journal of Manufacturing Science and Engineering", Vol. 120 (1998)
- [2] Jun Soo Lee and Eog Yong Chin' "Effects of Conditions on Spot Weldability of Galvanized Steel Sheet" J. of the Korean Inst. of Met. & Mater. Vol. 34 (1996) No. 2
- [3] By M. J. KARGOULIS, "A Nut-and-Bolts Approach to the Control of Resistance Spot Welding" Welding Journal July (1994) p.27
- [4] BY P. K. GHOSH, P. C. GUPTA, RAMAVTAR AND B. K. JHA, "Weldability of intercritical Annealed Dual-Phase Steel with the Resistance Spot Welding Process" WELDING RESEARCH SUPPLEMENT Jan. (1991) 7s-14s
- [5] kang.I. C: Moden Welding Enginnering, 1997, p. 287
- [6] S. M. Cho, "Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Result", Journal of KWS, Vol. 15, April (1997) No. 2
- [7] Won Cheol Shin, Joon Key Minn and Chang Che Shur, "A Study on the Spot Weldability of Hot-dip Galvannealed Steel Sheet" the Korea inst. of Metals Vol. 28, (1990) No. 11,
- [8] Ji-Woong Jung, "A study on the Evaluation of Weldability and the Optimum Welding Conditions in Spot Welding of sheet Steel", 1998