

인장-전단하중을 받는 점 용접재의 변형률 분포 특성 평가

차용훈*, 김덕중**, 이연신***, 성백섭****

Evaluation on the Properties of Strain Distribution of the spot welding specimen under tensile-shear load

Cha, Yong-Hoon* Kim, Duck-Joong** Lee, Youn-Sin*** Sung, Back-Sub****

Abstract

In order to evaluate strength of spot welded joint, at first it is important that we should know strain distribution near nugget zone.

During loading, in HAZ, compressive strain increase with Increase of load, but in nugget zone, tensile strain increase. During unloading, on the other hand, even though the load decreases, the strain variation is not almost appeared in nugget zone and HAZ.

In nugget boundary zone, the strain range increases continuously along with load increase on outer surface, but the strain increases continuously and decreases rapidly beyond yield strength on inner surface.

In this paper, strain distribution are measured in inner and outer surface with variation of thickness and load under tensile-shear load.

Tensile-shear strength increased as with increase of specimen thickness. As for thickness increase rates are 25%, 50%, 100%, and 150%, tensile-shear strength increase rates are 40%, 81%, 130% and 228%.

Key Words : Tensile-shear Strength(인장전단강도), Nugget Zone(너깃부), Spot Welded Joint(점용접이음), Strain Distribution(변형률 분포)

1. 서론

점 용접은 직경이 수 mm인 점상으로 접합되므로 응력 집중원이 되어서 자동차 차체 등의 경우 강도면에서 유리

한 구조라 말할 수 없다. 수 많은 점으로 접합, 조립되는 자동차 및 항공기 몸체의 경량화 등에 의해 박판화·고장력화 됨에 따라 복잡한 응력상태를 형성한다.⁽¹⁻⁶⁾

특히 점 용접부는 단시간의 국부적인 가열에 의한 열응

* 조선대학교 기계공학부
** 동아인재대학 자동차과
*** 송원대학 자동차과
**** 조선대학교 대학원

력 및 냉각시의 수축으로 인한 잔류응력 등의 영향으로 뒤틀림, 변형 및 균열 발생의 원인이 되고 있으며, 또한 좌굴과 같은 박판 구조물 특유의 변형 거동을 동반하고 있다.⁽⁷⁻¹³⁾

이러한 영향으로 인해 점 용접 구조물의 강도 평가가 용이하지 않아, 이에 대한 많은 연구가 요구되며, 이를 위해 점 용접부 근방에 대한 스트레인 측정 데이터를 축적하여, 설계, 시험평가 등 개발의 각 과정에서 점 용접 구조물 설계시 기초자료로서의 활용이 필요하다.

그러나 아직까지 이에 대한 정확한 데이터 및 일반화된 기준이 확보되어 있지 않은 형편이다.

따라서 본 연구에서는 점 용접 재료로 많이 사용되는 냉간압연강판을 점 용접하여 시험편을 제작하고, 인장-전단하중을 받는 시험편에 대해 두께 변화에 따른 스트레인 분포를 측정하여, 박판 점 용접 너깃 근방의 변형 거동을 종합적으로 평가하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 0.8, 1.0, 1.2, 1.6 및 2.0mm 두께의 냉간압연강판 SPCC재를 사용하였으며, 재료의 화학적성분은 Table 1, 기계적성질은 Table 2에 나타냈다.

Table 1 Chemical compositions of base metal (wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.04	0.012	0.32	0.025	0.008

Table 2 Mechanical properties of base metal

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elong -ation (%)	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
171.6	294.5	56.0	2.07 × 10 ²	0.3

시험편 내·외표면에 Fig. 1과 같이 스트레인 게이지를 부착하여 인장-전단하중에 따른 스트레인 변화를 측정하였다.

시험편 너깃부 좌·우측에 부착한 스트레인 게이지는 모두 단축이며, 게이지 길이는 1mm, 게이지 팩터 2.14 ± 1%, 게이지 저항은 120 Ω이다.

점 용접부의 인장-전단시험편은 용접이음의 인장전단

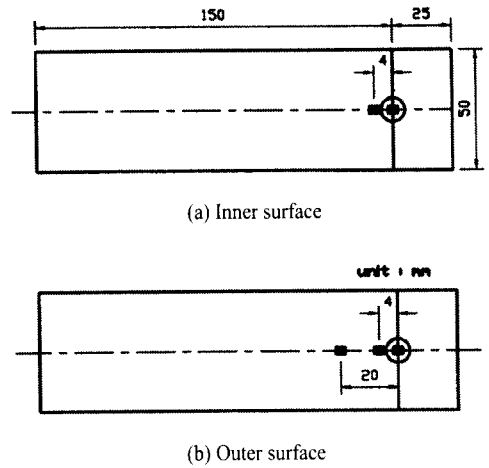


Fig. 1 Schematic diagram of experiment equipment

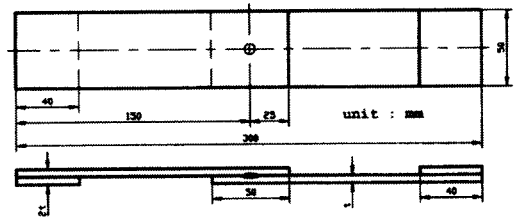


Fig. 2 Configuration of tensile-shear testing specimen

시험법 JIS Z 3136에 따라 Fig. 2와 같이 제작하였다. 시험편의 양단을 8개의 볼트로 고정시켰으며, 또한 편심이 되지 않도록 양쪽 그림에 시험편과 두께가 같은 조각편을 대었다.

각 시험편 두께에 대한 점 용접시험편의 용접조건은 Table 3과 같으며, 미국 저항용접제조자협회(RWMA)가 추천하는 A-class 조건을 택하였다.

본 실험에 사용된 점 용접기는 정격용량이 150KV인 공압식을 사용하였고, 용접전극은 반구형으로 형상은 외경 16mm φ, 전극팁은 6.0mm의 A형 수냉식으로 10타 점마다 교환하였다.

점 용접부의 인장-전단시험을 위해 인장시험기를 이용하였으며, 용접시험편에 정적 스트레인 메터를 이용, 하중변화에 따른 스트레인 분포를 측정하였다.

또한, 마이크로 비이커스 경도계를 이용하여 너깃 근방의 경도분포를 측정하였다.

Table 3 Spot welding conditions for specimens

Thickness (mm)	Force (kN)	Weld time (cycle)	Weld current (A)
0.8	1.76	8	7900
1.0	2.31	10	9000
1.2	2.75	12	10000
1.6	3.53	14	11500
2.0	4.81	17	13500

점 용접부의 인장-전단시험을 위해 인장시험기를 이용하였으며, 용접시험편에 정적 스트레인 미터를 이용, 하중변화에 따른 스트레인 분포를 측정하였다.

또한, 마이크로 비이커스 경도계를 이용하여 너깃 근방의 경도분포를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 경도 분포

Fig. 3은 너깃 주위의 마이크로 비이커스 경도(Hv) 분포를 측정된 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 Hv값은 모재부, 열영향부 및 너깃내부에 따라 각각 그 값이 다르게 나타났다. 즉 모재부의 경도치는 평균 Hv 97 정도였고, 열영향부의 평균경도치는 Hv 135 정도였으며, 너깃 내부의 평균 경도치는 Hv 190 정도였다.

특히 열영향부의 평균 경도값은 최고치가 Hv 170, 최저치가 Hv 108 정도로 매우 산발적임을 알 수 있었다.

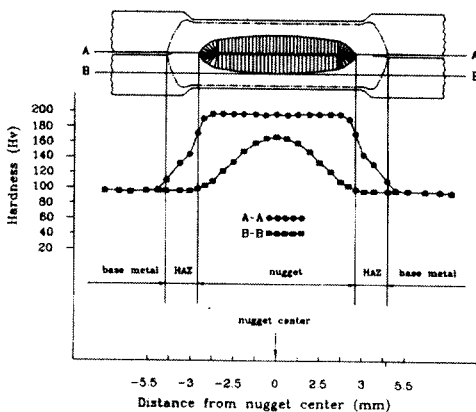


Fig. 3 Distribution of micro-vickers hardness measured from nugget center

이와 같이 열영향부에서 관찰되는 경도분포의 불균형성과 열영향부에서 발생,전파하는 파괴 위치를 비교하여 본 결과 거의 일치하고 있음을 알았다. 따라서 이러한 불균일한 경도치를 갖는 조직의 영향으로 정적 및 피로파괴가 발생, 전파됨을 알 수 있는데, 이러한 불균형 조직 경계부가 가까운 곳에서 파괴가 일어난다고 생각된다.

3.2 인장-전단강도

Table 4 및 Fig. 4는 각 시험편 두께에 따라 점 용접부의 인장-전단강도를 나타낸 것으로서 두께가 증가할수록 인장-전단강도가 증가함을 알 수 있었다. 시험편 두께증가율에 따른 인장-전단강도 증가율을 보면 두께증가율이 25%, 50%, 100% 및 150%일 때 인장-전단강도 증가율이 40%, 81%, 138% 및 228%로 증가하였다.

Photo. 1은 두께 1.0 및 2.0mm의 인장-전단시험을 행한 후의 시험편 파단형태를 나타낸 사진이다. 사진에서

Table 4 Tensile-shear strength according to the thickness in spot welded joint

Specimens thickness (mm)	Tensile-shear strength (kN)
0.8	4.43
1.0	6.22
1.2	8.04
1.6	10.56
2.0	14.53

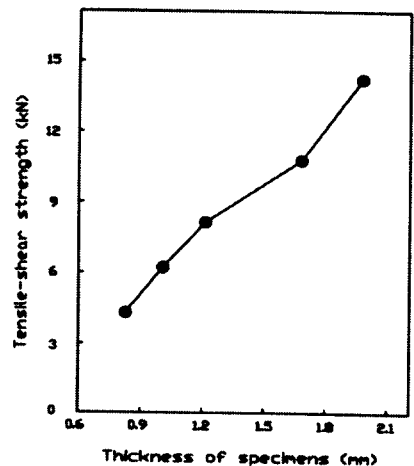
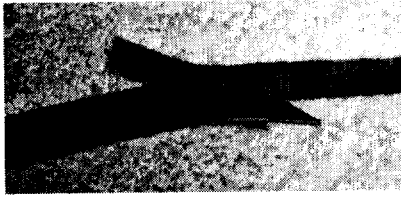


Fig. 4 Variation of maximum shear strength according to the plate thickness in spot welded joint



(a) 1.0mm



(b) 2.0mm

Photo. 1 State of fracture after static tensile - shear test in spot welded specimens

알 수 있듯이 인장-전단시험편의 점용접 부위인 너깃 선단 압접부에서 파괴가 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 용접이 점 형태로 접합되기 때문에 너깃 선단에서 응력이 집중되어 너깃과 압접부의 경계선상에서 최대의 변형을 일으킨 결과로 판단된다.

3.3 하중 변화에 따른 스트레인 분포

Fig. 5와 6은 용접부와 열영향부의 두께에 따른 스트레인 변화를 비교한 그림이다. 시험편 두께가 얇을수록 동일한 하중범위에서 스트레인 범위가 크게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 5는 용접부의 스트레인의 변화를 나타낸 그림으로서, 하중의 증가에 따라 인장 스트레인을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 6은 열영향부에 대한 스트레인의 변화를 나타낸 그림으로서 하중 증가에 따라 압축 스트레인을 나타내고 있다.

Fig. 7은 판 두께 0.8mm인 점 용접시험편의 모재부에 스트레인 게이지를 부착하여 부하(loading)와 제하(unloading)에 따른 스트레인 변화를 관찰한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 저하중의 범위에서는 압축 스트레인을 나타냈으며, 하중의 증가에 따라 인장 스트레인으로 변화해가는 것을 알 수 있었다. 이는 제하 상태에서는 스트레인의 감소는 거의 없었으며, 너깃 근방에서 커다란

잔류변형이 발생했기 때문이라 사료된다.

Fig. 8은 판 두께 1.6mm 시험편의 너깃부, HAZ부 및 모재부에 스트레인 게이지를 부착하여 부하, 제하시의 변형률 거동을 고찰한 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 너깃부의 경우 부하시에 하중의 증가와 함께 스트레인이 증가하였으며, 제하시에는 하중이 감소하여도 스트레인의 변화가 거의 없었다. 이것은 부하시에 점차로 하중이 증가하여 항복강도 이상의 하중이 작용하면 점용접부에서 소성변형을 일으켜, 제하시에 하중이 감소하여도 점용접 너깃근방에 영구변형이 잔류하여 스트레인의 변화가 거의 발생치 않은 것으로 생각된다. HAZ부의 경우 부하시에는 압축 스트레인을 보이다가 제하시에는 소성변형의 영향으로 하중이 감소하여도 스트레인의 변화가 거의 없었다.

저하중 영역에서는 굽힘응력이 시험편의 변형거동을 지배하지만, 고하중 영역에서는 하중이 증가함에 따라 굽힘응력의 영향은 미미해지고, 단지 인장응력 성분만이 전체 변형을 지배하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 판 두께 1.6mm 시험편 너깃 경계의 내·외표면에 스트레인 게이지를 부착하여 하중 증가에 따른 스트레인 변화를 나타낸 그림이다. 외표면의 경우 하중의 증가와 함께 계속 압축 스트레인 범위를 나타냈으며, 내표면의 경우는 하중의 증가와 함께 스트레인 범위가 계속 증가하다가 항복강도 근처에서 급격히 감소함을 알 수 있는데, 점 용접부의 피로균열이 주로 내표면의 너깃부에서 발생하는것도 이러한 역학적 원인이 지배적이라 할 수 있다.

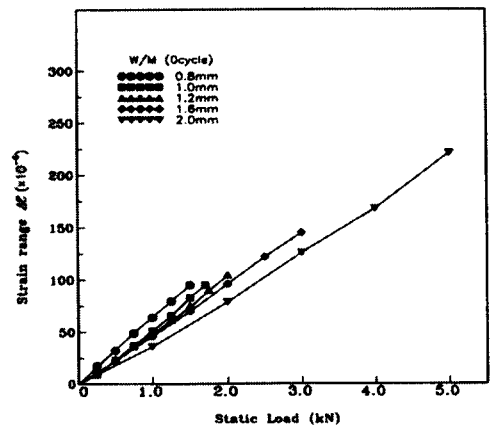


Fig. 5 Strain distribution obtained from increasing static load in weld metal

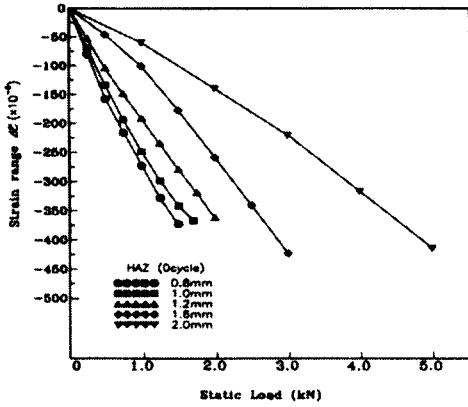


Fig. 6 Strain distribution obtained from increasing static load in HAZ

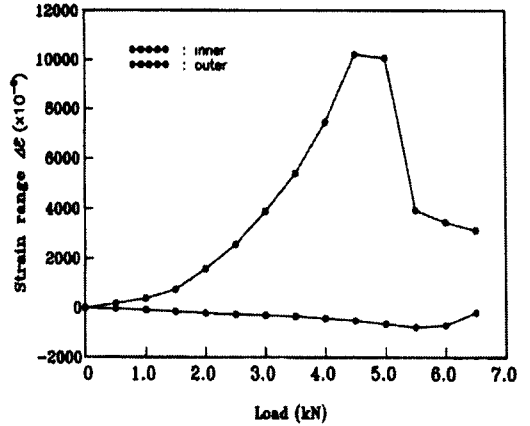


Fig. 9 Strain distribution measured from inner and outer surface in spot welded joint (1.6mm)

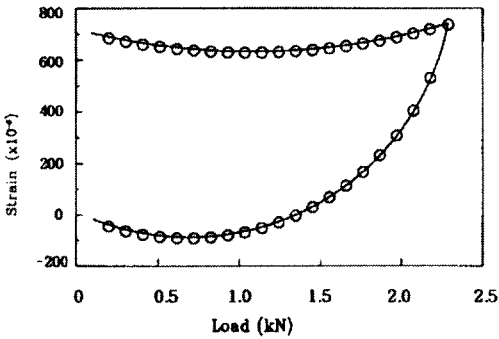


Fig. 7 Distribution of strain in loading-unloading (0.8mm)

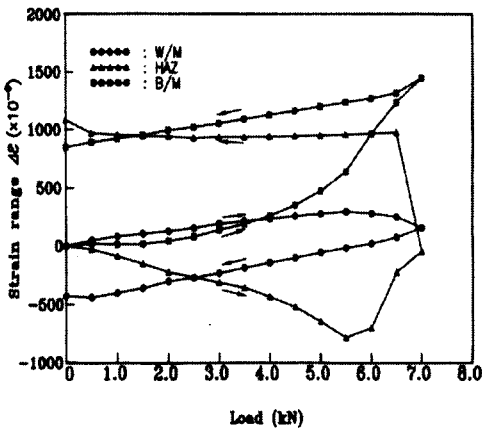


Fig. 8 Distribution of strain according to loading-unloading in weld metal, HAZ and base metal (1.6mm)

4. 결 론

인장-전단하중을 받는 점 용접 시험편의 스트레인 분포를 측정하여, 너깃부 근방의 변형 특성 거동을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시험편 두께에 따른 인장-전단강도는 두께 증가율이 25%, 50%, 100% 및 150%일 때 인장-전단강도 증가율이 40%, 81%, 138% 및 228%로 증가하는 경향을 나타냈다.
- (2) 부하시에는 너깃부의 경우 하중의 증가와 함께 압축 스트레인이 증가하였으며, HAZ의 경우 초기에 압축 스트레인을 보이다가 하중의 증가와 함께 인장 스트레인을 보였으나, 모재부의 경우 계속적으로 인장 스트레인의 양상을 보였다. 제하시에는 너깃부, HAZ 및 모재부 모두 하중이 감소하여도 스트레인의 변화가 거의 없었다.
- (3) 점 용접 너깃 경계부 외표면에서의 스트레인 분포는 하중의 증가와 함께 계속 압축 스트레인을 나타냈으며, 내표면의 경우는 하중의 증가와 함께 스트레인이 계속 증가하다가 항복강도 근처에서 급격히 감소함을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 1997년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) 中村, Spot溶接部の品質保證およびMonitor狀況と將來, 日本溶接學會誌, Vol. 44, No.11, pp. 13-27, 1975.
- (2) Gedeon S. A., Sorensen C. D., Ulrish K. T., and Eagar T. W : Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds. Welding Journal, Dec., pp.378~385, 1987.
- (3) J.E. Gould, "An Examination of Nugget Development During Spot Welding, Using both Experimental and Analytical Techniques", Welding Research Supplement, pp.1s-10s, 1987.
- (4) 김홍건, "불연속 금속복합체에서의 탄성거동에 관한 미세구조역학적 해석" 한국공작기계학회지, 제6권, 제3호, pp. 58~64, 1997.
- (5) R.L. Cohen, and K.W. West, "Spot Weld Strength Determined from simple Electrical Measurements", Welding Journal, pp. 17-23, 1984.
- (6) R.S. Chandel, and S. Garber, "Mechanical and Metallurgical aspects of Spot-weld Joints in heat-treated low-carbon mild Steel Sheet", Metal Technology, pp.418- 424, 1974.
- (7) J.G. Kaiser, G.J. Dunn, and T.W. Eagar, "The Effect of Electrical Resistance on Nugget Formation During Spot Welding". Welding Research Supplement , pp.167s-174s, 1982.
- (8) D.V. Lindh, and J.L. Tohher, "Heat Generation and Residual Stress Development in Resistance Spot Welding". Welding Research Supplement, pp.351s- 360s, 1967.
- (9) J.A. Davidson, and E.J. Imhof, Jr., "The Effect of Tensile Strength on the Fatigue Life of Spot-Welded Sheet Steel", SAE 840110, 1984.
- (10) 青山, 勝本 : 引張せん断荷重を受ける1点スポット溶接重ね継手の應力分布 : 材料, 第22卷, 第237號, 1973.
- (11) 勝本, 他 : "引張せん断荷重を受ける一点スポット溶接重ね継手の應力と變位"; 自動車技術會論文集 No. 17, 1979.
- (12) 松反, 新況 : 引張せん断荷重をうける一点スポット溶接重ね継手の應力分布 : 第1報, 等厚継手の場合; 自動車技術會學術講演會前集862, 1986.
- (13) 김재열, "디지털 화상처리에 의한 강·구조물의 용접부 치수 결함 검출의 자동화에 관한 연구" 한국공작기계학회지, 제8권, 제3호, pp. 92~99, 1999.