

하중작용방식에 따른 점용접재의 피로거동

송삼홍(고려대 기계공학과), 양윤진*(고려대 대학원 기계공학과)

A Study on the Fatigue Behavior of Spot Weld Specimen as Applied Load Pattern

Sam-Hong Song (Mechanical Engineering . Dept. Korea Univ),

Yun- Jin Yang*(Mechanical Engineering . Graduate school. Korea Univ.)

ABSTRACT

In this study, the fatigue characteristic of spot weld specimen was studied by using the various specimen. The specimen types were tensile shear specimen welded one spot and two spot, and cross tension. The tensile tests and fatigue tests were executed to know the mechanical properties under static and fatigue load condition. In addition, the relationship was illustrated by finite element method.

Key Words : Spot Welding(점용접), Crack Tip Opening Angle(CTOA:균열단 열림각), Fatigue Life(피로수명), Fatigue Limit(피로한도)

1. 서론

점용접부의 형상은 응력집중원으로 작용하여 구조물의 내구성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 이러한 점용접부의 피로특성에 대한 연구와 점용접을 효율적으로 이용하고자 최적 용접조건을 설정하기 위해 연구가 진행되어지고 있다.

Pook⁽¹⁾은 점용접부의 너깃단을 예리한 노치로 보고 혼합모드하에서의 응력확대계수로 유도하였다. Erodogan-Sih⁽²⁾의 최대인장응력조건을 이용하여 상당응력확대계수를 구하고 이것을 이용하여 각 시편 형상에 대한 피로강도를 체계적으로 정리하였다. 그러나 응력확대계수가 크랙팁의 응력상태를 잘 기술할 수 있고, 점용접재의 피로수명을 평가할 수 있게 해준다 하더라도 응력확대계수를 구하는 것은 대개의 경우 매우 어렵고, 또한 응용에 제한이 있어 개개의 시스템에 맞게 수정되어야 하는데 이 또한 결코 쉬운 일이 아니다.

따라서 본 연구는 점용접재의 피로수명을 통일적으로 평가하는 방법을 모색하고자 한다. 또한 차체와 같은 구조는 기하학적 형상이 복잡하며 하중이 부위에 따라 각기 다른 양상을 나타낸다. 하중작용방식에 따른 각 시편의 시스템 강성을 찾아 피로수명 특성을 조사하여 보았다.

2. 실험방법

본연구에 사용된 시험편의 재료는 현재 승용차 차체에 사용되는 냉간 압연 강판, SPCC(Steel plate carbon C)이며, 재료의 화학적 성질과 기계적 성질은 Table 1, 2에 나타내었다.

용접 조건은 너깃의 크기를 대략 6mm로 하는 기준으로 하여 각각의 시편을 단일 용접조건으로 용접하였다. 이를 KS B 0802, KS B 0805, KS B 0851의 규정에 따라 인장전단시험, 결모양시험 및 단면시험을 실시하여 A 등급으로 평가하였다. 점용접 조건 및 다양한 시험편의 형상은 Table 3과 Fig 1에 나타내었다.

시험은 전기 유압식 인장 압축 시험기(Instron 1331)를 사용하였으며, 진동수는 10Hz, 응력비($R=P_{min}/P_{max}$)은 0.1로 하였다. 피로수명은 균열이 전파하여 시험편이 완전히 파단될 때까지로 하였으며, 피로한도는 응력반복수 10^6 cycle로 파단하지 않는 하중⁽¹⁾으로 하였다. 또한 균열단 열림각은 0.49kN 씩 정하중을 증가시켜 근접촬영을 실시하고 사진 판독을 통해 측정하였다.

너깃부의 균열단 열림각에 대한 개략도는 Fig 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of SPCC (wt%)

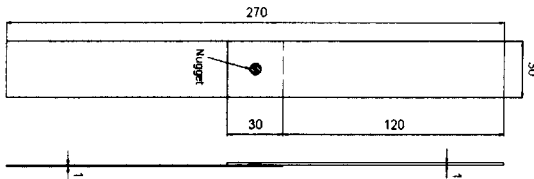
C	Mn	P	S
0.025	0.14	0.012	0.011

Table 2 Mechanical properties of SPCC

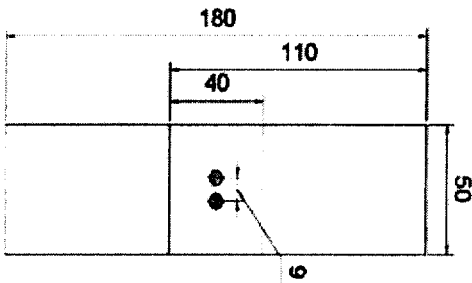
Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
221.5	331.2	45

Table 3 Welding conditions

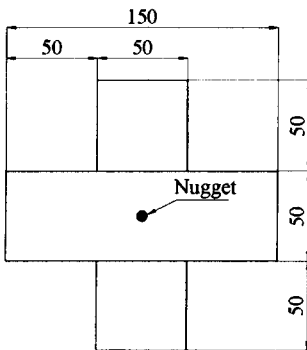
Welding force (kN)	Welding current (kA)	Current cycle (cycle)
2.21	11.88	10



a) Tensile shear specimen(1spot)



b) Tensile shear specimen(2spot)



c) Cross tension specimen

Fig. 1 Geometry of spot weld specimens



Fig. 2 Schematic diagram of spot welded specimen under tensile load

3. 실험결과 및 고찰

3.1 점용접부의 경도시험

점용접부에 해당하는 너깃은 점용접시 가열과 동시에 가압이 이루어짐으로 조직이 치밀해지며, 그로 인해 경도값은 높게 나타남을 알 수 있다. 열 영향부의 경도값의 급격한 변화는 피로강도에 저해하는 요인으로 파악된다. 특히 2 점용접재는 양쪽 너깃의 지름이 비대칭적으로 나타남을 알 수 있으며, 이것은 저항용접의 특징으로써 첫번째 제작된 너깃과 두번째 제작된 너깃의 저항값이 다른으로 나타나는 현상임을 알 수 있다.

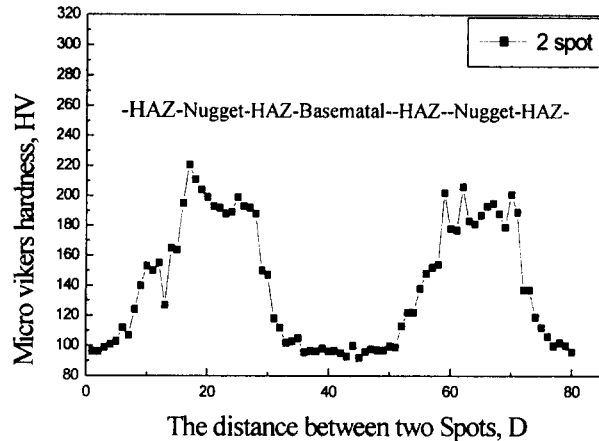


Fig. 2 The result of hardness test for 2 spot specimen

3.2 하중 작용에 따른 피로한도 특성

피로한도 특성을 파악하기 위해 인장시험을 실시하여 각 시편에 대한 정적강도를 평가하였다. 인장전단시험편인 1 점용접시험편과 2 점용접시험편, 십자형 인장시험편의 파단강도를 Table 4 에 나타내었다.

인장전단시험편인 1 점용접재에 비해 2 점용접재는 1.43 배 차이가 생김으로써 다용접구조물에서의 너깃의 수가 피로한도에 영향을 줄을 알 수 있다. 또한 십자형 인장시험편의 파단강도가 인장전단시험편에 비해 현저하게 낮다. 십자형 시험편은 마치 완전취성재의 파괴거동과 그 경향이 비슷하게 나타나는데 소성구간을 거치지 않고 항복과 동시에

Table 4 Fracture Force of each specimens

specimen	Force	Fracture force(kN)	Comparison of 1spot
Cross tesion		4.87	0.75
1spot (tensile-shear)		6.328	1
2spot (tensile-shear)		9.078	1.48

버튼(Button)가 일어난다.

각 시험편형상에 따른 작용하중범위와 피로한도 선도는 Fig. 4 와 같다. 2 점용접된 인장전단시험편의 피로한도는 2.001kN 이며 1 점용접된 시험편은 1.359kN 으로 2 점용접재의 피로한도가 더 우수함을 알 수 있다. 십자형 인장 시험편은 정적강도는 비교적 높은 강도를 유지하는 반면에 피로강도는 현저히 낮게 평가되는 것을 볼 수 있다. 이것으로 보아 피로특성이 하중의 작용방식에 매우 민감하다는 것을 나타낸다.

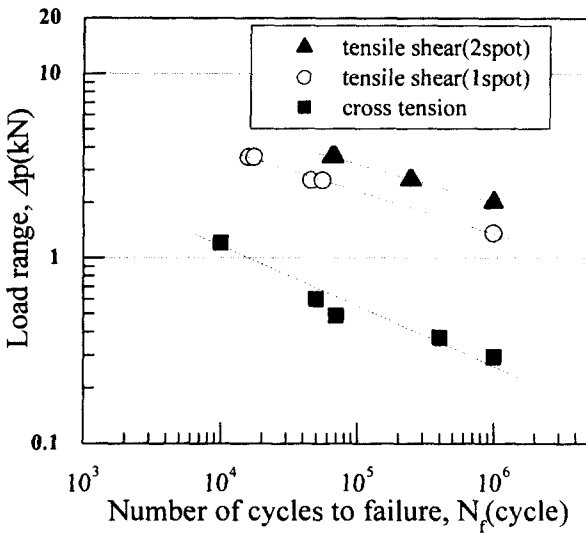


Fig. 3 The result of the fatigue test for each specimen

3.3 점용접재의 정하중시 균열단 열림각의 거동

인장시험 및 피로 시험시 너깃부를 중심으로 대칭적으로 벌어지면서 모재가 떨어지는 현상이 보인다. 인장전단시험편은 축방향의 하중이 작용할 때 너깃 주위는 인장과 굽힘하중을 동시에 받게 된다. 너깃단은 내표면에서부터 인장력이 작용하고, 외표면으로 가면서 굽힘하중과 상쇄효과를 나타낸다.

그러므로 소성에 의한 영구변형이 먼저 내표면에서 발생하게 된다. 이러한 영구변형과 응력 집중이 너깃단에 가까워질수록 커지며, 너깃단으로 갈

수록 축방향의 균열단 열림각이 크게 된다.

인장 전단 시험편에 비해 십자형 인장 시험편은 균열단 열림각의 크기가 비교적 큼을 알 수 있었다.

3.4 유한요소해석을 통한 균열단 열림각 변화에 대한 피로거동

유한요소해석을 통하여 점용접부 주위의 응력해석 및 변위량을 측정하고 피로수명과의 연관성을 알아보았다. 모델링은 3 차원 강체로 하였고, 전모델로 하였다. 해석 패키지는 EMRC 의 Display3, NISA2 를 사용하였으며 다중응력하에서 항복강도를 알기 위해 응력분포는 Von Mises 상당응력으로 나타내었다.

너깃부는 크기 6mm 원형으로 접합형상을 만들어 일체화시켜 원기둥 모양의 너깃을 형성하였다. 본 해석에서는 실제 너깃단에서의 균열단 열림각의 측정치와의 비교를 위해 탄소성해석을 실시하였다.

또한 실제 인장시험을 통해 접합된 판재가 너깃을 중심으로 벌어짐으로써, 3 차원 강체 모델에 의한 접촉은 고려하지 않았다. 그리고 포와송비 ν 는 0.33 으로 하였다.

인장 전단 시험편은 인장방향의 너깃단 끝에 응력집중부가 형성함을 보여주고 있으며, Fig.6 은 십자형 시험편은 전단하중으로 인해 양쪽 너깃단에 응력 집중부위가 형성됨을 알 수 있었다. 또한 이러한 현상을 피로시험 및 인장시험을 통해 확인 할 수 있다.

또한 각각의 인장과 전단하중시의 변위량을 통해 균열단 열림각을 측정하였다. Fig. 5 는 각각 정하중시의 균열단 열림각의 선도이며, Fig.6 은 균열단 열림각과 피로수명선도와 관계를 나타낸 것이다.

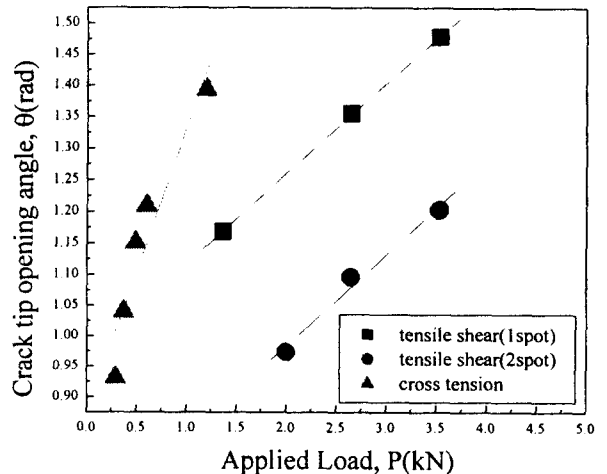


Fig. 5 Crack tip opening angle of each specimen

Fig. 7 은 하중작용방식에 따른 각 시험편의 피로수명이 균열단 열림각과의 관계를 보여주고 있다. 따라서 피로한도는 균열단 열림각을 강성파라미터로 삼아 통일적 정리할 수 있었다.

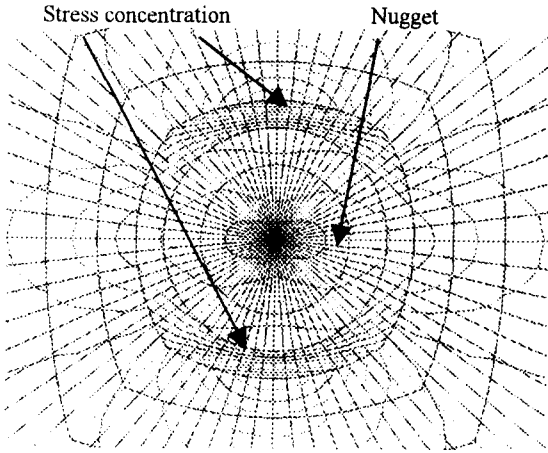


Fig. 6 Stress distribution of cross tension

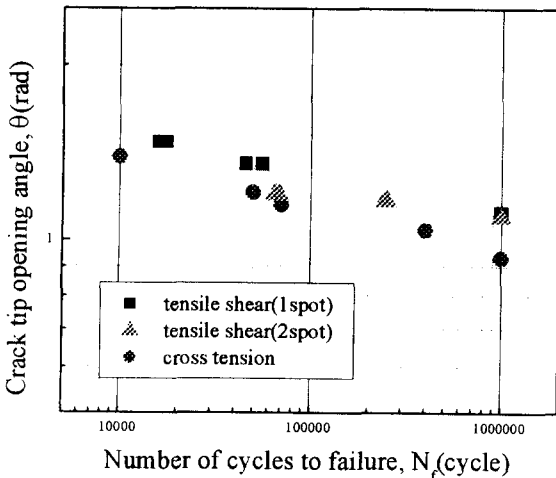


Fig.6 Relationship between CTOA and Number of cycles to failure

4. 결론

본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 경도시험을 통해 점용접부는 너깃과 열영향부, 모재로 나뉘어짐을 알 수 있었으며, 열영향부에서 경도값이 급격히 변함을 알 수 있었다.

2) 인장시험을 통해 십자형 인장시험편, 1 점용접재, 2 점용접재 인장전단시험편으로 정적강도가 향상됨을 알 수 있었다. 또한 피로한도 각각 0.229kN,

1.359kN, 2.001kN 으로 십자형 인장시험편의 피로한도는 현저히 낮게 평가되는 것을 볼 수 있었다. 이것은 보아 피로특성이 하중의 작용방식에 민감함을 나타낸 것이다.

3) 균열단 열림각의 측정해 본 결과, 십자형인장시험편은 인장전단시험편에 비해 비교적 크게 변형됨을 알 수 있었다.

4) 하중작용방식에 따른 각각의 시험편의 피로한도는 CTOA 를 강성파라미터로 삼아 통일적으로 정리됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Pook, L. P., 1975, "Fracture Mechanics Analysis of The Fatigue Behavior of Spot Welds", International Journal of Fracture 11, pp. 173 ~ 176
- (2) Erdogan, F. and Sih, G. C., 1963, "Om the Crack Extension in Plates under Plane Loading and Transverse Shear". J. Basic Eng., 85, p.519.
- (3) 송삼홍, 배준수, 장성재, 1997, "하중작용방식에 따른 차체용 점용접재의 피로특성에 관한 연구," 대한정밀공학회 97 년도 추계학술대회는 문집, pp.668 ~ 671
- (4) 송삼홍, 김부동, 1984, "점용접재의 파괴거동과 응력분포," 대한기계학회논문집, 제 8 권 제 3 호, pp. 224 ~ 231
- (5) 송삼홍, 김부동, 1983, "점용접의 너깃지름과 판 간접촉지름의 관계성," 대한기계학회 1983 년도 대한기계학회논문집 제 7 권 제 3 호, pp. 313 ~ 1983
- (6) Sawhill, J. M. and Jr, Baker, J. C., 1980, "Spot Weldability of High-Strength sheet Steels", Welding Journal January, pp. 19-s ~ 30-s2
- (7) Tanuma, K. and Hashimoto, T., 1979, "Static Fracture Appearance of spot welded Joints of Cold Rolled Carbon Steel Sheets," Trans. of National Research for Metals, Vol. 21, No. 4 pp. 32-37
- (8) Williams, N. T. and Jones, T. B., 1979, "Spot weld size and fracture mode in low carbon mild steel," Metal Construction, pp. 541 ~ 546
- (9) Yih-Renn, Kan, "Fatigue Resistance of Spotwelds - An Analytical Study," Material Engineering Quarterly, pp. 26 ~ 36
- (10) Sato, Y., Ito, Y., Shida, T. and Minakawa, S, 1988, "The Fatigue Strength of Spot Welded Joints", Welding international, No. 2 pp. 140 ~ 145