

初期 過荷重이 點銲接 引張剪斷 試驗片의 疲勞舉動에 미치는 影響  
(The Influence of Initial Overloads on the Fatigue Life  
of Spot-welded Tensile-shear Specimens)

부산대학교            강성수  
현대자동차(주)        정원욱

1. 서      론

점용접부는 직경 수mm의 점상으로 접합되므로 응력집중의 발생원이 되어서 피로강도 면에서 유리한 구조가 되지 못한다. 그래서 일본등에서는 점용접부의 피로강도를 높이려는 용접성 연구와 피로강도를 통일적으로 평가하려는 피로강도 평가연구가 활발히 진행되어 왔다.

이러한 연구는 주로 시험편의 형상, 부하 방식, 피로 시험 방법등 역학적인 면의 연구, 점용접 재료의 연구, 그리고 점용접 자체의 용접성에 관한 연구와 같이 세 부분으로 나눌 수 있다. 그중에서도 부하 방식에 의한 영향을 연구하는 부분에서는 실제적으로 점용접부에 작용하는 하중이 어떤 형태인지 확인하기가 어렵기 때문에 많은 어려움이 있다. 그래서 점용접부의 시험편의 형태를 인장 전단, +자형 인장 전단, T형 인장, 상자형등 다양하게 제작하여 연구하여 왔다. 그러나 이런 많은 연구들은 일정 진폭 하중하에서 피로시험을 실시하였기 때문에 실제 자동차가 달릴 때 받게 되는 여러가지 진폭의 하중을 고려할 수가 없었다. 그러므로 지금까지 점용접부에 대한 연구들은 점용접부가 받게 되는 충격하중이나 과하중의 영향들을 무시한 연구였던 것이 사실이다.

그래서 실제 자동차가 받게 되는 여러가지 진폭의 하중을 받을 때 점용접부가 어떻게 반응할 것인지 그 기초적인 연구가 필요하며, 가장 먼저 해결되어야 할 과제는 평균적인 일정 진폭 하중외에 받게되는 과하중의 영향일 것이다. 특히 초기 과하중이 점용접부에 어떤 영향을 주는지를 규명하는 것이 필요하다. 그래서 그 결과를 사용하여 피로시험이나 시작차 평가 단계에서 나타나는 결과를 분석하는데 활용할 수 있는 기초적인 자료들이 요구된다.

그러므로 본 연구는 자동차 차체 점용접부의 인장전단시험편에 초기과하중을 주어 그 피로거동에 미치는 영향을 피로균열의 발생거동, 성장거동과 함께 연구하였다. 또 평가 방법으로는 현장에서 가장 많이 사용되어지고 있고 현재 많은 연구가 진행되어지고 있는 strain gage를 이용하여, 과하중이 없을 경우의 변형률 범위 변화의 거동과 과하중을 받았을 경우의 변형률 범위 변화의 거동의 차를 통해 초기 과하중이 점용접 박판구조의 피로 거동에 미치는 영향을 분석 검토하였다.

2. 초기 과하중의 적용 및 영향

과하중란 일정 진폭하중이 작용하고 있을 때에 이보다 큰 하중폭을 가진 하중이 작용할 때 이것을 과하중이라고 하며 인장과하중과 압축과하중이 있다. 인장과하중은 과하중 중에서 마지막 과하중이 인장하중일 경우이며 압축과하중은 압축하중일 때이다. 일반적으로 인장과하중은 일시적으로 균열성장속도를 감소시키거나 균열이 진전하는 것을 완전히 정지시키는 반면에 압축과하중은 균열성장을 가속화시키는 경향이 있다는 사실은 이미 알려진 사실이다.

阿部博司, 佐藤次彦등의 실험에서는 변형률 범위가 극히 작은 값이 될 때까지는 변형률 범위는 하중파형과 동상이며 그 이후에 역상이 되었다. 이것은 그들이 스트레인 게이지를 점용접부 압흔단에 부착하였기 때문에 하중파형에 대해 동상에서 역상으로 변형률 파형이 변화되었지만 본 실험에서는 너깃단 1mm지점에 스트레인 게이지를 부착하였기 때문에 변형률 파형이 하중 파형에 대해 역상에서 동상으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이

변형률 게이지에서 얻어진 전체 변형률 출력 중에서 탄성적인 변형률에 상당하는 변형률 범위의 변화율을 피로균열의 발생시기 또는 피로 균열성장을 검출하는 신호로 사용하였다.

측정된 변형률 범위  $\Delta \epsilon$ 는 초기치  $\Delta \epsilon_i$ 에 대한 변형률 범위의 변화율  $\Delta \epsilon_r$ 로써 정리할 수 있다. 여기서 변형률 범위의 변화율  $\Delta \epsilon_r$ 은 다음식으로 표시한다.

$$\Delta \epsilon_r = (1 - \Delta \epsilon / \Delta \epsilon_i) \times 100(\%) \quad (1)$$

이 변형률 범위의 변화율로써 피로균열길이를 정리하면 매우 좋은 대응 관계에 있는 것이 알려져있다. 즉 피로균열길이를 변형률 범위의 변화율로써 검출을 할 수 있다. 많은 실험에 의해서 피로균열의 발생시기는 변형률 범위의 변화율이 명확히 변화하기 시작하는 시기와 매우 잘 일치하고 있다고 알려졌다. 그래서 본실험에서도 이 식을 사용하여 초기 과하중에 의한 영향을 분석 검토하였다.

### 3. 피로 실험 및 결과

#### 3.1 피로 실험

본 연구에 사용한 재료는 현재 자동차 차체로 사용되어지고 있는 고장력강을 사용하였다. 모재의 물성치는 Table 1에 나타내었으며 판두께는 0.7mm이고 화학성분을 무게비로 비교해 보면 C가 0.03%, Mn이 0.27%, P가 0.02%, S가 0.009%, Al이 0.025%이다. 항복응력은 18.6 kgf/mm<sup>2</sup>, 인장강도는 36.5 kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율은 40%이다.

시험편의 점용접은 자동차 공장의 현장에서 실시하였으며, 용접조건은 인장시험시 가장 큰 인장력을 가질 때의 조건으로, 압축력을 240 kgf, 용접전류를 11kA, 통전시간을 18cycle, 유지시간을 12cycle, 개방시간을 10cycle로 하여 실시하였다. 용접조건은 Table 2에 정리하였다. 또 전극은 지름이 6mm인 CF형 전극을 사용하였다.

시험편의 형상은 Fig.1과 같이 단점 점용접부 인장전단 시험편으로 만들었는데, 전체 길이는 240mm, 너비는 40mm이며, 두 개의 판이 엇갈리는 길이는 40mm로 제작하였다. 그리고 시험편의 양단에 지름 15mm의 치구연결용 구멍을 2개씩 뚫되 비틀림하중이 작용하지 않도록 하기 위해 압흔단과 일직선상으로 제작하였다. 이 치구연결용 구멍을 뚫기 위해서 특별히 시험편제작용 치구도 만들어 사용하였다. Fig.2에 나타낸 치구는 피로시험기와 시험편을 연결시키고 하중이 정확히 전달되도록 하기 위해 제작한 것으로, 편은 피로시험기에 연결되고, 볼트, 너트는 시험편의 양옆에 붙인 치구를 고정시키기 위한 것이다. 그리고 변형률 값을 측정하기 위하여 길이가 2mm인 일반 스트레인 게이지를 Fig.3과 같이 너깃단 1mm지점에 하중축과 일직선상으로 접착하였다. 그리고 터미널을 붙여서 스트레인 게이지에 충격이 작용하지 못하도록 하였다.

#### 3.2 결 과

본 논문에서는 피로균열 발생 수명을 측정하기 위하여 제하변형률(offset strain)을 측정하여 그 변화량이 급속히 이루어 지는 시기를 균열이 어느정도 발생하여 진전하는 시기로 잡았다. 본 실험에서는 R=0.0로 하여 최소하중(L<sub>min</sub>)이 작용할 때의 변형률 값이 제하 변형률(offset strain)이 된다.

그리고 과하중을 가하였을 경우 수명초기에 제하변형률 값이 (+)의 값을 가지는 것을 볼 때 초기 과하중이 시험편의 탄성한도 이상의 하중으로 작용하기 때문에 인장의 소성변형이 점용접부의 내외면에 작용함을 알 수 있다. 그러나 내부의 인장 소성변형이 외부의 인장 소성변형보다는 더욱 많이 일어나고 이것 때문에 과하중의 정도에 따라 균열 발생과 성장 거동에 영향을 미친다고 생각된다.

Fig.4은 과하중비(OLR)가 1.5 이고 하중범위가 130kgf인 시험편에 대하여 하중파형에

대한 변형률 파형의 상이 바뀌는 시점에서 각 cycle에 대한 파형을 비교한 것이다. 처음에는 하중에 대해 역상의 모양을 하고 있던 파형이 나중에는 동상으로 바뀌는 것이 나타난다.

이것은 원래 점용접부에는 내면과 외면의 변형률 값이 반대를 가지며 특히 외면의 경우에는 인장에 대해 압축변형을 받게되고 인장 잔류응력이 남게된다. 그런데 판 내부에서 균열이 성장함에 따라 외면이 인장하중을 받게되어 하중에 대해 역상(-)의 반응을 보이던 외면변형률이 동상(+)의 반응을 보이게 되는 것으로 생각된다.

그러므로 점용접부의 어느 특정 부분에서 하중에 대한 변형률 출력의 상변화를 통하여서도 내부에서의 균열의 진전 여부와 피로수명을 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig.5는 제하변형률(offset strain)과 수명과의 관계를 나타낸 것이다. 이그림을 통하여 각 시편의 균열발생수명과 진전수명을 비교할 수 있다. 제하변형률 - 수명곡선은 처음부터 거의 일정한 기울기를 가지고 있다가 균열발생수명이 되면 기울기가 갑자기 변하기 시작하는 것을 알 수 있다. 또 초기 인장 과하중이 없는 경우에는 제하변형률의 값이 계속 증가하지만 초기 과하중이 있는 경우에는 오히려 감소하는 경향을 보인다. 과하중의 정도에 따라 초기 제하변형률은 다르지만 일정 진폭하중을 가하였을 때의 제하변형률의 변화율은 거의 일정함을 알 수 있다. 일정 진폭하중이 130kgf일 때 과하중을 주지 않았을 경우와 1.5의 과하중비를 가지는 과하중을 주었을 경우의 제하변형률 변화를 비교해보면 이런 현상을 바로 알 수 있다. 이 경우에 초기 제하변형률 값은 비슷하지만 과하중을 받지 않은 시편은 제하변형률이 계속 증가하는데 비하여 과하중비를 1.5로 하여 과하중을 준 경우는 제하변형률의 값이 오히려 약간 감소하는 것을 알 수 있다.

또, 초기 과하중의 정도가 클수록 제하변형률 변곡점 이후의 제하변형률 증가 정도가 적었고 초기 제하 변형률 보다 감소하는 경향을 보였다.

#### 4. 결 론

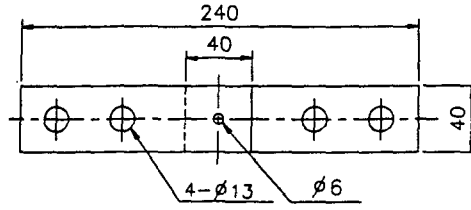
1. 초기 과하중의 정도가 심할수록 초기의 절대변형률범위가 더 작아졌으며, 변형률 파형의 상변화 전까지는 절대변형률 범위가 작아지다가 변형률 파형의 상변화 후에는 커졌다.
2. 제하변형률과 수명곡선의 변곡점 이후의 경우에는 초기 과하중이 클수록 제하변형률 증가가 적었고, 후기 제하 변형률이 초기 제하 변형률보다 감소하는 경향을 보였다.

#### 5. 참고 문헌

- 1) 강성수, "異種点溶接材의 疲勞舉動에 관한 기초적 연구", 경북대 박사 학위 논문, (1990)
- 2) 結城良治, "ス ホット 溶接継手の疲勞強度評價への破壊力學の適用の現状と問題點", 日本精密機械, 50卷10號, P1560, (1985)
- 3) G.Matsoukaas, G.P.Steven, Y.M.Mai, "Fatigue of Spot Welded Lap Joints", Int.J.Fatigue, Vol.6, No.1, p 55, (1984)

과학성분(wt %)					YP	TS	EI
C	Mn	P	S	Al	kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	%
0.03	0.27	0.62	0.09	0.25	18.6	36.5	40

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of base metals



unit : mm

Figure.1 Shape of specimens

압축력 (kgf)	전극 (mm)	용접전류 (kA)	통전시간 (cycle)	유지시간 (cycle)	개방시간 (cycle)
240	CF 6.0	11	18	12	10

Table 2. Spot welding conditions

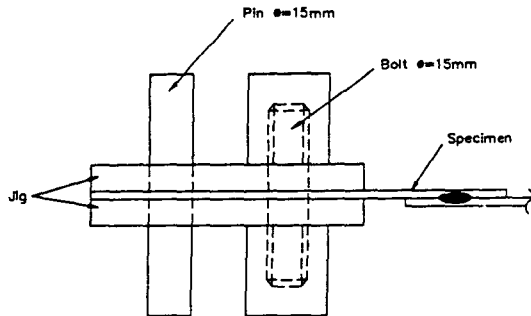


Figure.2 Shape of zig

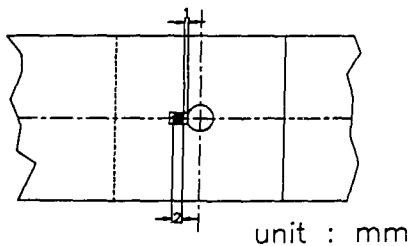


Figure.3 Bonding position of normal gage

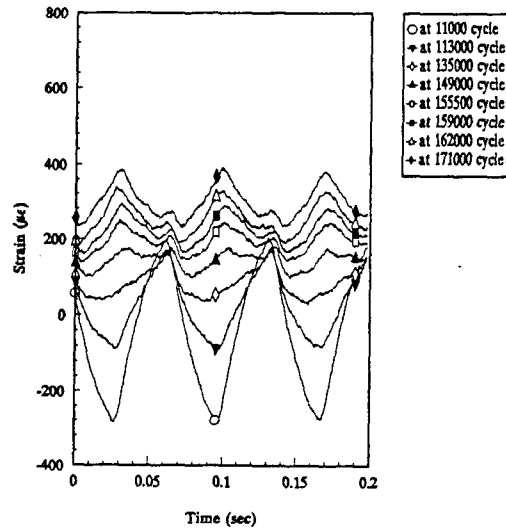


Figure.4 The waveform of strain from 11000 cycles to 171000 cycles (OLR=1.5, ΔL=130kgf, R=0.0)

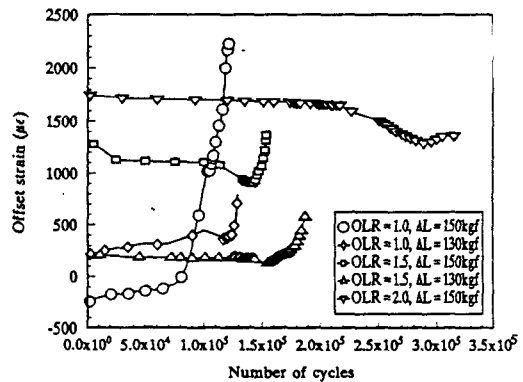


Figure.5 The relationship between offset strain and number of cycles