

내열강재의 마찰용접에 따른 피로수명 특성에 관한 연구

A Study on the Fatigue Life Characteristics of Heat-Resisting Steel

이 동길*, 이 상열**, 정 재강***

* 조선대학교 기계공학부 대학원

** 목포과학대학 자동차과

***조선대학교 공과대학 기계공학부

ABSTRACT The fatigue crack propagation characteristics were investigated for two kind of heat-resisting steel(STR3 and STR35) commonly using in valve material of vehicles. From the experiment, the fatigue life of the specimens notched at bonded line was shown about 19.7% and 72.2% lower and the specimens notched at 1.0mm distance from bonded line was shown about 25.2% and 99.1% higher than that of the base metal respectively.

1. 서 론

마찰용접은 에너지 효율이 좋고, 구조조직을 만들지 않기 때문에 기계적 성질이 우수하며, 공정변수가 축하중, 회전속도, 업셋량 등으로 간단하여 비교적 관리 및 자동화가 용이하다. 또한 아크용접에 비하여 금속소모량이 상대적으로 적으며, 접합조건에 따른 재현성이 우수하여 품질의 신뢰도가 높은 등의 장점으로 마찰용접을 건설차량의 구동축, 굴착용 파이프, 자동차의 차축, 배기밸브류, 터보차축, 발전소의 증기 및 가스 터빈용 발전축 등 다양하면서도 중요한 부분에 자주 사용되고 있으며 점차 적용범위가 확대되고 있다^(1, 2).

내열강(耐熱鋼)이란 높은 온도에 산화와 부식이 되지 않으며 강도의 저하가 쉽게 일어나지 않는 특수한 강으로서 STR계(Steel) 와 STS계(Stainless) 등 2가지로 대별하며 이 2가지 계는 각각 오스테나이트계, 페라이트계, 마르텐사이트계로 세분되어 진다⁽³⁾.

본 연구에서는 차량용 밸브에 사용되는 내열강 STR3과 STR35 재료를 마찰용접하여 회전굽힘 피로실험을 통해 모재, 열영향부 및 접합선(Bonded Line)에서의 피로특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 차량용 밸브에 사용되는 마르텐사이트계 내열강 STR3과 오스테나이트계 내열강 STR35로서 그 화학조성과 기계적 성질은 각각 Table 1과 Table 2과 같다.

Table 1 Chemical compositions

(wt. %)

Materials	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
STR3	0.43	2.15	0.60	11.0	1.0	0.60
STR35	0.53	0.31	9.00	21.0	-	3.55

Table 2 Mechanical properties

Materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus $\times 10^3$ (MPa)
STR3	516.29	1,151.66	17.91	30.88
STR35	480.93	1,084.94	37.02	29.87
Welded	444.87	1,022.89	12.50	30.74

본 연구에 사용한 마찰용접기는 브레이크 타입(brake type)의 마찰용접기를 이용하여 직경 20mm, 길이 150mm 환봉을 Table 3과 같은 조건으로 가압접하여 용접을 실시하였다. 시험편 가공은 용접재를 CNC로 선삭가공시 접합선이 평활부의 중심에 위치하도록 가공하였으며, 미소원공은 직경과 깊이를 각각 0.3mm의 크기로 접합선 및 접합선으로부터 1.0mm 떨어진 곳에 polishing한 다음 부식을 하여 가공하였으며, 이렇게 가공된 시험편의 모양 및 치수는 Fig. 1과 같다.

西谷⁽⁴⁾은 표면에 존재하는 비관통 미소원공에 대한 연구에서 시험편의 지름에 대한 치수효과는 지름이 $5 \leq D \leq 10$ mm인 범위에서는 거의 영향이 없다고 하였다. 따라서 본 실험에 사용된 시험편의 지

름은 8mm이므로 지름에 대한 치수효과는 없다고 볼 수 있다.

결합이 가공된 모재 및 1.0mm부 노치재 시험편의 피로시험응력 STR3보다 피로한도가 낮은 STR35 피로한도의 약 90%인 370.4MPa로 설정하였다. 표면 피로크랙길이 측정은 replica법 및 이동 현미경을 설치한 후 접안이동측미계(OSM)을 부착하여 측정 관찰하였으며, 미소원공을 포함한 시험편 표면상의 전 크랙길이를 2a로 하였다. Photo. 1은 본 실험에 사용된 재료에 대한 금속조직사진이다.

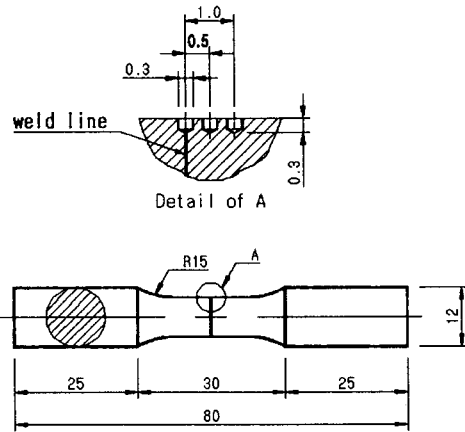


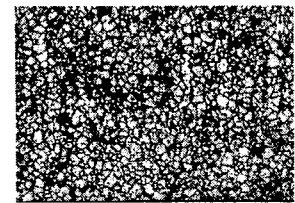
Fig. 1 Geometry of fatigue test specimen

Table 3 Friction welding conditions

Spindle revolution (rpm)	2,700
Pre-friction pressure (MPa)	2.03
Friction pressure (MPa)	4.90
Upset pressure (MPa)	6.18



(a) STR3



(b) STR35

Photo. 1 Micro-Structure of materials ($\times 200$)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 피로한도 및 경도분포

Fig. 2는 실험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 S-N선도이다. 피로한도는 $N=1 \times 10^7$ Cycle까지 시험편이 파단되지 않는 응력으로 하였다. 평활재의 피로한도시험 결과 경도증가 및 인성을 감소시키는 Si가 많이 첨가된 STR3의 피로한도는 429.0MPa이며, 취성을 방지하고 내마모성을 향상시키는 Mn과 고 Fe-Cr합금을 오스테나이트화 시키는 Ni이 많이 첨가되어 있는 STR35는 409.4MPa로 나타나 STR3의 피로한도가 STR35보다 약 20MPa이 높게 나타났다.

Fig. 3은 접합선을 기준으로 0.05mm간격으로 측정한 마이크로비커스 경도값의 분포를 나타내고 있다.

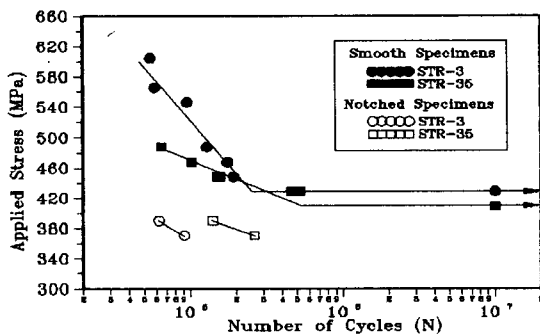


Fig. 2 S-N diagram

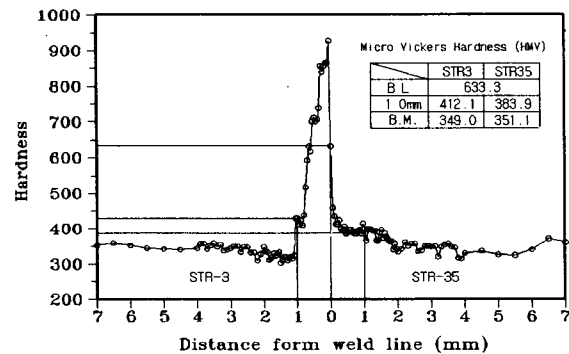


Fig. 3 The hardness gradient distribution

3.2 피로수명 고찰

Fig. 4는 원공결함이 있는 시험편의 응력에 따른 피로크랙 2a와 반복수 N의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 미소원공결함이 접합선으로부터 1.0mm떨어진 곳에 가공된 시험편의 피로수명은 모재보다 STR3은 약 25.2%, STR35는 약 99.1%씩 증가한 반면 접합선에 미소원공결함이 가공된 시험편은 모재보다 STR3은 약 19.7%, STR35는 약 72.2% 감소하였으며 파괴전 관찰된 최종크랙길이도 크게 감소하였는데 이러한 원인은 용접면의 분리현상으로 사료된다.

3.3 피로크랙길이의 파단수명비와의 관계

李⁽⁵⁾는 굽힘모멘트 하에서 미소원공을 갖는 평판재의 피로시험 결과 N/N_f 가 20~90% 구간에서 상수 B가 1.0~1.29의 범위 내에 있다고 하였으며, 鄭⁽⁶⁾은 이것의 정량적인 분석 검토에 의하여 피로크랙의 발생·성장특성 등을 예측하는 것이 가능하다고 하였다.

Fig. 5는 표면크랙길이의 파단수명에 대한 반복수의 비(수명비)와의 관계를 나타낸 것이다. 이때 응력의 대소에 관계없이 피로크랙성장특성을 $2a-N/N_f$ 선도로 나타내면 각각의 데이터들이 직선의 기울기로 좁은 범위내에 모여지는 것을 알 수 있다.

한편, 西谷⁽⁷⁾은 이들 관계를 다음과 같이 표시하였다.

$$(\log 2a) = A + B(N/N_f)$$

여기서 A는 원공의 크기에 따라 주어지는 상수이고 B는 비례상수이다.

4. 결 론

본 연구에서는 차량용 밸브에 사용되는 내열강 STR3과 STR35 재료를 마찰용접하여 피로크랙 전파특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

평판재의 피로한도시험 결과 STR3의 피로한도는 429.0MPa이며, STR35는 409.4MPa로서 STR3의 피로한도가 약 20MPa이 높게 나타났다. 미소원공결합이 접합선으로부터 1.0mm 떨어진 곳에 가공된 시험편의 피로수명은 모재보다 STR3은 약 25.2%, STR35는 약 99.1%씩 증가한 반면 접합선에 미소원공결합이 가공된 시험편은 모재보다 STR3은 약 19.7%, STR35는 약 72.2% 감소하였으며 파괴전 관찰된 최종크랙길이도 크게 감소하였다. 또한 피로크랙길이의 파단수명비의 관계식에 본 시험재료를 적용한 결과 마찰용접 및 미소원공결합의 위치에 관계없이 비례관계가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. D.E. Spindler, "What Industry Needs to Know about Friction Welding", Welding Journal, March 1994, pp. 37~42
2. 조현수, 서성재, "Inconel 713C와 SCM440의 마찰용접", 大韓熔接學會誌, 제 15卷, 제 6號, 1997, pp. 564~565
3. 채왕석, 권용기, 김동현, "마르텐사이트계 내열강의 금속 및 기계적 특성에 관한 연구", 韓國精密工學會 春季學術大會論文集, 1997, p 1073
4. 西谷, 鹿毛, "電解研磨した廣穴材の回轉曲げ", 日本機械學會論文, 제 39卷, 제 323號, 1966, pp. 2005~2012
5. 李 相龍, "非貫通 円孔 欠陥材에 있어서 짧은龜裂의 非線形 挙動 및 크랙成長에 관한 研究", 高麗大學校 碩士學位論文, 1992.
6. 李相烈, 鄭在康, "자동차전륜 구동축재의 피로크랙 전파특성에 관한 연구", 大韓機械學會論文集 A, 1997, pp. 105~111
7. 西谷弘信, 森光武則, "小穴付き試験片の回轉軸げ試験によるき裂傳ば特性の評価", 日本機械學會論文集, 第42卷, 제 354號, 1976, p 328

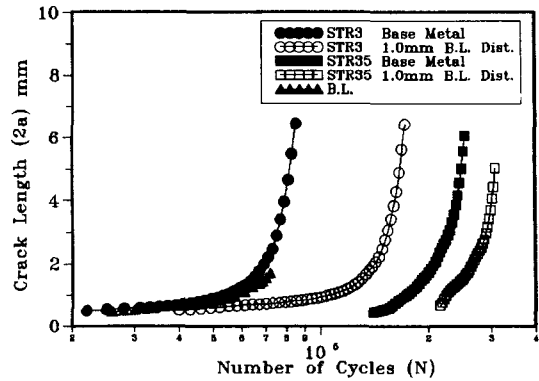


Fig. 4 Relation between crack length and number of cycles

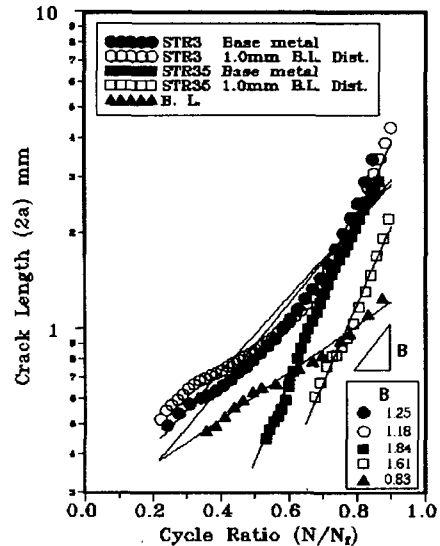


Fig. 5 Relation between crack length and cycle ratio for S35