

SUS 강판 용접부의 AE 방법에 의한 피로파괴전파 특성에 대한 연구
A Study on the characteristics of crack propagation in stainless
steel welding zone by A E Method

신 근 하* 김 용 수**
Kuen ha Shin Yong soo Kim

ABSTRACT

It is well known that mechanisms of fracture and crack growth depend upon material characteristics such as fracture toughness, environmental condition, crack geometry and mechanical properties. It seems to be very important to investigate the effects of the above factors on the behavior of structural components which contain flaws for the detailed evaluation of their integrity.

In this experimental research, fracture behaviors of materials were investigated by using Acoustic Emission(AE) technique. The fracturing processes of materials were estimated through both the tension specimens.

For the determination of yield strength or fracture toughness, the critical applied load at the crack initiation and propagation is thought to be very important. The critical applied load(PQ) was determined through AE signal. The source of AE signal was estimated by fractography analysis.

These experimental results may contribute to the safety analyses and the evaluation of strength of structures.

*正會員 : 아주대학교 생산공학과

**正會員 : 국립서울산업대학, 산업안전공학과.

1. 서론

강체에 응력이 증가되어 작용하게 되면 탄성변형 후 소성변형이 일어나게 되고, 그후 파괴가 일어나게 된다. 이러한 과정에서 축적된 에너지가 간헐적으로 해방되고, 변형된 탄성파가 방출된다. 이러한 현상을 Acoustic Emission (AE)라고 한다. 이 AE에 대한 최초의 연구는 독일의 J.Koiser 가 1950년에 연구 발표하여서 이러한 AE의 응용 기술등은 공학적인 측면에서 재료과학, 파괴역학, 금속공학, 구조공학, 원자력분야 및 전자공학 등에 이용되고 있다.

AE는 재료강도를 연구하고, 비파괴검사 방법을 개발하는데 있어서 그 예민도와 동적인 측정의 특성때문에 아주 확실한 기법으로 많이 사용된다. AE방법의 기술적인 응용은 여러 연구자들에 의해서 Crack 전파와 AE방출량에 대한 상호관계에 대한 연구결과 등이 보고되고 있다. Fig.1에 AE의 방출기구를 보였다. 일반적으로 이러한 AE의 방출은 2가지로 구분된다. 하나는 최고하중점 근방에서 방출되고, 이것은 Crack 선단에서의 소성역내에서 일어나는 변형과 파괴에 의한 것이고, 다른 하나는 하중 제거 및 재부하중의 적용시에 Crack단힘 및 열림현상에 의한 소성역의 역항복현상(reversed yielding)에 의한 것이다. 이러한 현상은 하중속도, 하중비, 온도, 환경, 재료의 성질 및 Crack의 형상에 의해서 많은 영향을 받으므로 AE파의 검색은 중요한 해석자료가 된다.

또한, AE는 재료내부에 반전 될 수 없는 급속한 탄성에너지의 방출로 부터 얻어지는 변환된 탄성파 이다. 앞에서 언급한것 처럼 AE파는 구조물의 강도평가 및 여러종류의 내압용기 등을 평가하는 등 산업현장에서 활발하게 사용되고 있을 뿐만 아니라 재료파괴 특성의 규명과 안전성 평가에 사용된다. 특히 최근에와서는 선형파괴역학적인 관점에서 Crack의 전파특성을 AE특성에 연관시키는 연구가 활발히 진행되어 왔다.

AE방출의 주 원인을 고려하지 않더라도 급속한 AE 발생량의 증가나 AE에너지의 증가를 안정 혹은 불안정 Crack전파에 연관시켜 생각하는 것은 가능하다.

그러므로 Kishi¹⁾는 소성변형에 의해 생기는 AE의 발생기구와 AE Pules 생성의 기초원리의 설명와 함께 응력집중의 입장에서 연구했으며 금속학적 인자의 AE Pluse 에의 영향도 보고하였다. Sinclair, Connors 와 Formby²⁾는 $N_r = A$ 로써 AE 총수가 피로 Crack 생성면적 A에 직접비례 한다고 했다.

여기서 r은 시험조건이다. 재료의 내적원인에 따른 상수이다.

그리고 $N_r = A$ 로 나타낸 AE의 발생은 Crack microfracture 와 Crack closure 와 Unsticking 에 의한 AE 방출이라고 보고하였다.

Ohhira 와 Kishi³⁾는 피로 Crack 진전에 따른 AE Activity를 지배하는 인자중 응력확대 계수폭 ΔK , 응력비 R, 기계적 물성치와, Plane atrain stress의 영향을 조사보고하였다.

파괴역학 상수 K_{Ic} 및 CTOD등을 사용하여 재료의 파괴특성을 평가하기 위해서는 Crack성장점을 정확하게 검출하는 것이 필요하다. 고체가 변형을 하게 되면 탄성에너지의 방출에 의하여 AE가 발생되고 이러한 AE의 발생을 측정하여

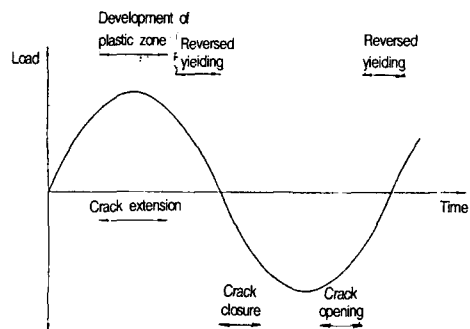


Fig. 1 AE source during fatigue crack propagation

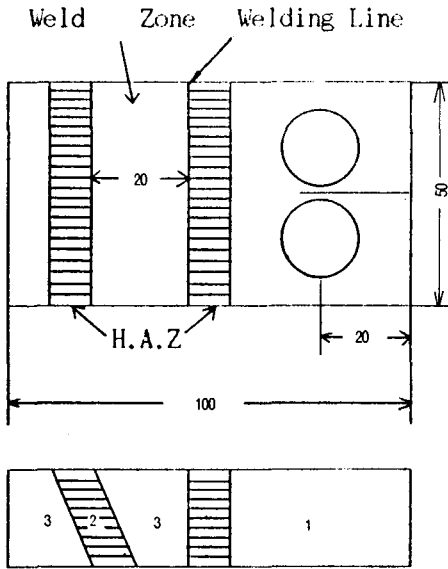


Fig. 2 AE source during crack propagation

Crack진전거동을 검출하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. AE 특성과 재료의 파괴거동 사이의 상호관계를 구명하는데는 구조적인 보존성을 측정하는것이 중요하다. 특히 초기 하중적용때에 AE의 발생이 검출되며, 이것은 초기의 피로Crack선단에서 닫혀있던 Crack이 하중의 적용에 따라 열리면서 Crack표면의 마찰에 의해서 발생된다.

그리고 AE 발생을 $(dN/dt=N)$ 는 변형이 항복점에 도달할때 최대가 된다.

Crack 선단 근방에서 소성적으로 변형된 영역의 대략적인 크기 (Γ_y)를 다음과 같이 가정하였다.⁶⁾

$$\Gamma_y = (K_I / \Gamma_{ys})^2 / 2\pi$$

Γ_{ys} 는 항복응력
 K_I 는 응력확대계수
 Γ_y 는 소성역의 크기

본 연구에서는 SUS강판을 용접하여서 CT시편으로 가공하여 피로파괴거동을 살펴보고, 이때 발생하는 AE를 검출하여 Crack진전에 따르는

AE의 방출을 비교검출한다.

2. 실험방법

용접시험편의 모재는 SUS 304을 TIG알콘 용접을 하여 Fig.2와 같이 시편을 가공하였다. 이때, notch의 선단이 그림에 보이는바와 같이 모재 (Sample-1), 열영향부 (Sample-2), 및 열영향부의 끝 (Sample-3)에 있도록 하였다. 이렇게 하여 만들어진 시료를 사용하여 피로 파괴실험을 ASTM A-370 규정 따라 행하였고 이때 발생된 AE를 검출하여 각 시료의 인장 및 파괴거동을 비교 검토하였다. 시험기로서는 민능피로시험기 (SERVOPC, Saginomiya, Japan made)를 사용하였고 AE발생의 검출기로서는 크래킹모니터 (San Densi Ind.Co. LTD. MD-1100S. Japan made)를 사용하였다. Crack의 진전거동을 살펴보기 위하여 Traveling Microscope를 사용하였으며, 증폭기로서 Dynamic Strain Amplifier (KYOWA. DPM-310A. Japan made)를 사용하였고 기록기로서는 Linear-corder (San Densi, Japan made) 및 X-Y기록기 (WATANABE. WX440B. Japan made)를 사용하였다. Fig.3에 실험장치의 계통도를 자세히 보였다.

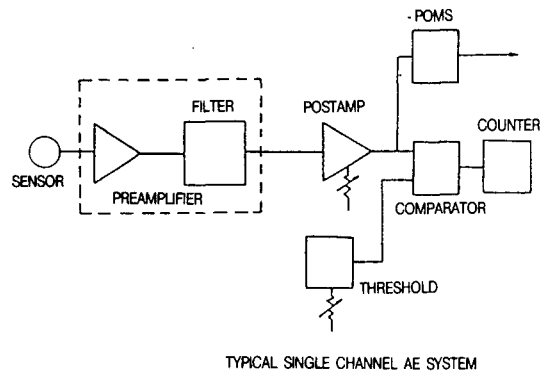


Fig. 3 Block diagram of measuring system

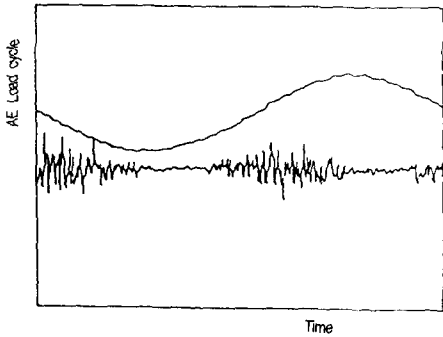


Fig. 4 AE and load cycle vs. time

3. 실험결과 및 검토

위와 같은 실험방법으로 실험하여 각시료별로 피로크랙의 전파거동 및 AE의 발생을 측정하였다. 피로시험시 평균하중은 12KN 하중진폭은 6KN이 되도록하였는데 이때 발생된 응력진폭과 AE의 발생을 Storage oscilloscope에 기억시켜서 X-Y recoder에 기록한 그림의 일례를 Fig.4에 보였다. 피로시험을 행하는 동안 크랙의 진전길이를 독취현미경으로 측정하여 크랙의 길이를 하중 Cycle수에 대하여 정리한것을 Fig. 5에 표시하였다. Fig. 6에 표시하였는데 Crack이 진전하여 열 영향부, 용접부등을 지나면서, 하중Cycle에 대한 Crack의 진전비율이 서로 다른 특이한 값은 같음을 볼수있다.

이 하중Cycle당의 크랙진전율을 응력확대 계수범

위에 대하여 정리한것을 Fig.7에 표하였는데 역시 응력확대계수 범위에 대한 하중Cycle당의 크랙진전율도 용접부를 통과할때 따라서 Scattering이 크게 나타났다. Fig.8에는 Fig.4에서 보였던 AE방출의 최고진폭을 측정하여 하중Cycle별로 정리하였다. 이 그림에서도 하중 Cycle수가 증가되어감에 따라 AE방출의 최고진폭이 증가되어감

알수있고 Crack이 용접부를 지나감에 따라 AE 방출진폭이 커졌던것으로 나타났다. AE의 방출을 전산처리하여 전위등급별로 구분하여 하중Cycle 수에 대하여 정리하여 Fig.9에 표시하였는데, 대체적으로 낮은 전위에서 AE의 방출이 활발하였고, 용접부위를 통과 함에따라서 AE의 방출을 활발함을 볼수있다. 이렇게 방출된 AE를 누적하여 하중 Cycle에 대하여 정리한 결과를 Fig.10에 표시하였는데, 각시료별로 많은 차이가 있음을 볼수있다.

이들의 결과를 종합하여보면, 용접부에서의 Crack 진전은 특이한 양상을 보이고 있는데, 이러한 특성이 AE의 방출결과에 잘 나타나며, 이러한 이유는 용접에의하여 발생되는 잔류응력, 재료의 조직변화, 경도의 증가 및 재료의 취성화에 원인이 있는것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 SUS 강판으로 CT시편을 가공하여 피로실험을 하여 이때 하중Cycle의 증가에

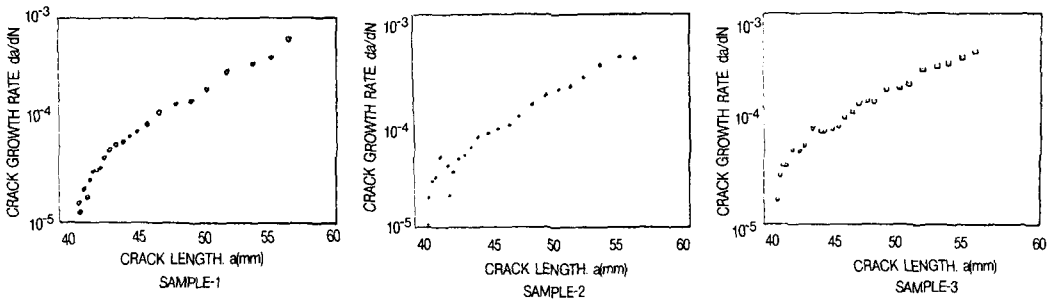


Fig. 5 Cracklength vs. number of cycles

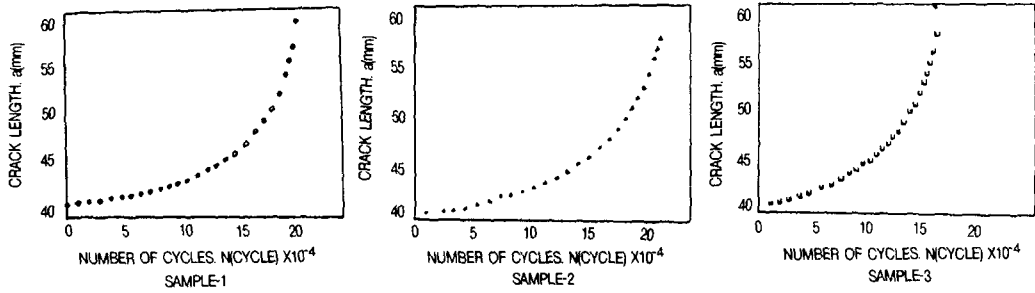


Fig. 6 Crack growth rate vs. crack length

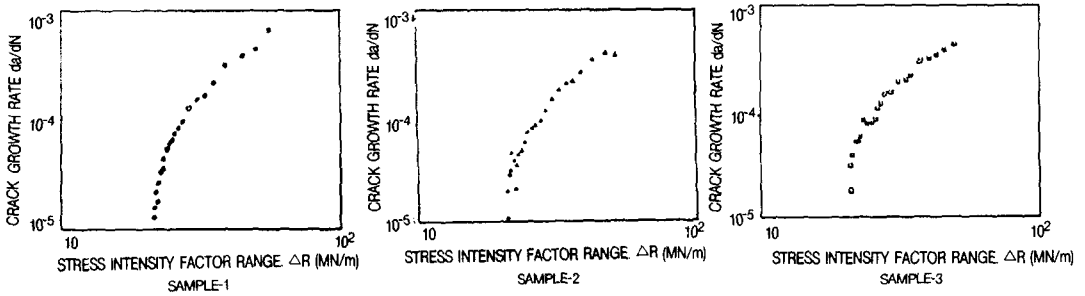


Fig. 7 Crack growth rate vs. stress intensity factor range

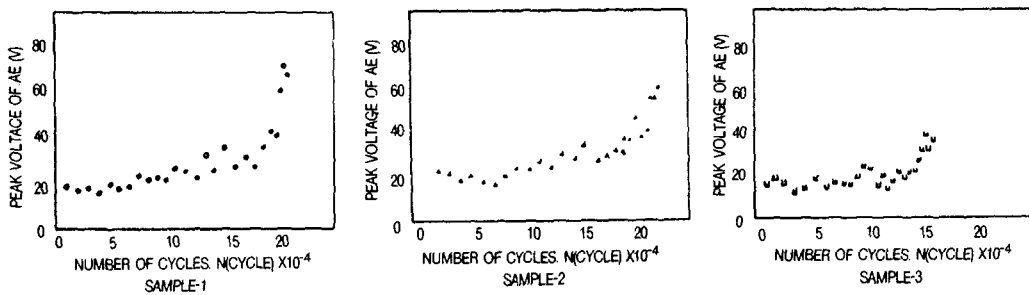


Fig. 8 Peak voltage of AE vs. number of cycles

따르는 Crack진전 및 AE의 발생거동을 비교검토 하였는데 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 하중Cycle의 증가에 따라 매 Cycle당의 Crack진전을 및 AE의 방출은 전반적으로 증가되며

이것은 응력확대계수 범위의 증가에따른 것으로 생각되며, 매Cycle당의 Crack진전이 커지는 것으로 나타났다.

2) 용접경계부에서의 매Cycle당의 Crack진전을

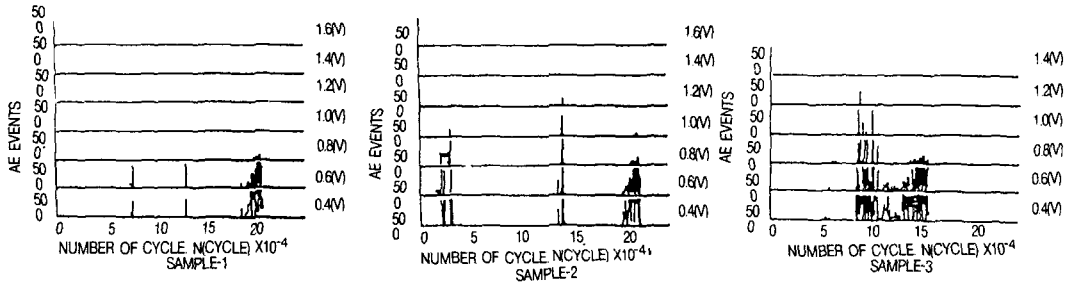


Fig. 9 AE events vs. number of cycles

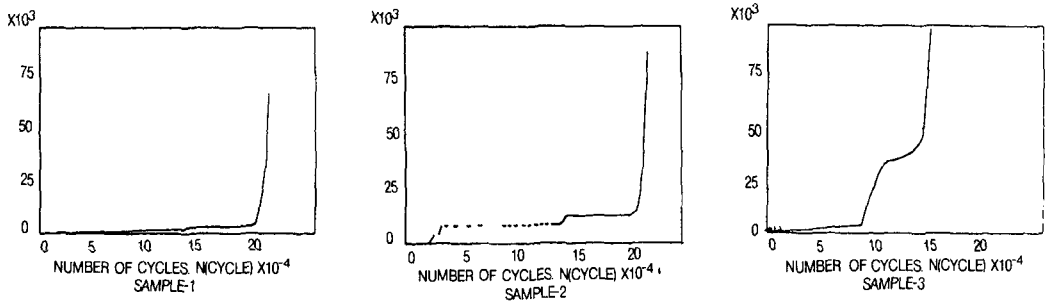


Fig.10 Accumulated AE events vs. number of cycles

및 AE의 방출이 상대적으로 증가하는데 이것은 용접부의 잔류응력, 재료의 조직 및 파괴기구의 변화에 의한 것으로 생각된다.

3) AE발생의 누적량을 하중Cycle수에 대하여 정리하면, Crack진전특성을 보다명확하게 규명할 수있음을 본 실험에서 알수있다.

참고문헌

(1) R. GG. Liptai, D. O. Harkis and C.A.Tatro, "An introduction to acoustic emission", ASTMSTP505, 1971, pp3-8
 (2) 尾上守夫, 山口楠雄, "아코우스테이크·에이션션의 基礎と應用", 코로나社 (1976)

(3) 岸輝雄, "塑性變形によ生すアコースティック·エツツヨツ", 塑性と加工, Vol.19, No.208, (1978-5) p360-369
 (4) A.C.E. Sinclair, D.C.Connors and C.F.Fornby, "Acoustic Emission Mechanisms during High-cycle Fatigue", Materials Science Engineering, 28, 1977
 (5) 大平貴規, 岸輝雄, "疲労き裂進展に伴うAEにおける(力)學的條件及ひ材料特性の影響", 非破壊検査.
 (6) G.R.Irwin, "Plastic Zone neara crack and fracture toughness", 1960 Sagomore ordnance mater. Conf., Syracuse University, 1961