

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

2001. 7. 31

[技術情報室]

TJ225 79-02 (2)

JWES-AE-7903

昭和53年度動力炉・核燃料開発事業団委託研究

分置

高速炉構造材料のA E特性に関する試験研究(II)

文 献 調 査

1979年7月

社団法人 日本溶接協会
原子力研究委員会
F A E 小委員会

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

文 献 調 査 結 果

本調査はA Eに関する情報を入手するため、1976年6月～1978年5月に報告された文献中からA Eに関係するものを検索し、(検索文献数 177件)

- ① 研究分野の分類
- ② 題名および著者のリスト作成
- ③ 抄訳作成(文献数 18)

を行なったものである。

なお本報告書には記載しないが、検索文献177件のアブストラクトおよび抄訳した文献18件の原論文が保存されている。

研究分野分類表

総文献数 177件

| 内 容 測 | 計 | 金 属 | | | | | 複 合 材 料 | 酸 化 物 、 粉 末 | ガ ラ ス 、 石 炭 | コ ン ク リ ー ト | 土 、 雪 | 半 導 体 | 振 動 ノ イ ズ | 放 電 燃 焼 切 断 |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|---|-----------------------|----------------------------|
| | | 塑 性 変 形 破 壊 | 疲 勞 応 力 腐 食 | 溶 接 接 合 | 構 造 物 圧 力 容 器 リ ー ク | 相 変 態 | | | | | | | | |
| 基 礎 研 究 | 24, 51, 55, 60 62, 71, 94, 97 100,106,108,109 ①24,161,164,171 | 4, 5, 21, 23, 28, 29, 37 ④0, 49, 50, 52, 66, 70 75, 82, 88, 89, 101, 102 103, 107, 121, 129, 141 ①53, 155, 157, 162, 163 165, 168 | 34, ④4, 58 64, ⑦8, ①42 ①51, ①59 | 26, 46, 47 85, 86, 140 ①50, 154, | 74, ⑧1 ①30, 144 | 41 61 72 83 95 115 118 123 147 | 5 14 128 173 174 175 | | | 56 77 | | | | |
| 原 子 力 | | | 67 | ④5, 53, 68 152 | 2, 22, 69 84, 90, ①26 166, 169, | | | 92 | | | | | | |
| 航 空 、 運 輸 | | | 8, 18, 20 ③2 | 148 | 10 | | 42 | | 1 | | | 7, 12, 38 111, 112, 113 114, 116, 122 132, 139 | 63 138 | |
| 機 械 | | | | 59 | 125, 172 | | | | | | | 30, 79 105, 120 133, 170 | 33 156 | |
| 化 学 | | | | | 9, ④3, 99 119, 127, 143 145, 149, | | | 6 57 | | | | | | |
| 建 築 、 土 木 地 質 | | | | | 65, 93 | | | 31 | 19 27 104 176 | | | | | |
| 電 気 | 39, 87, 98, 161 (フィルター, センサ) | 48 | | 13, 16, ③5 73, 76, 80 117, 177, | | | | | | | 17 | | 131 | |

注) 表中の数字は文献番号を示す。
○印は抄訳作成論文番号

題 名 お よ び 著 者

1. Acoustic emission characteristics of plain concrete.
by Griffin, Donald F
2. Inspection of nuclear reactor welding by AE, Data Report, '75-'76.
by Prine, D.W.
3. The national measurement system for acoustics.
by Pallett, David S.
4. Crack propagation surveillance by SWE using a converted leanord localizer
by Tomachevsky, E.G.
5. Microplasticity, tensile failure & indentation damage in unflawed poly-
crystalline. by Lankford, James Jr.
6. Materials science division coal technology 7th quarterly report, '76.
by Argonne national Lab.
7. Proof pressure evaluation of worn passenger car tire car casses.
by Clark, S.K.
8. AE-monitoring fatigue cracks in aircraft structure.
by Bailey, C.D.
9. AE inspection procedures for evaluating gas distribution pipelines.
by Mcelroy, J.W.
10. Review of aerospace applications of AE.
by Harris, D.O.
11. Discrimination of micro-fracture mode of fibrous composite material by
AE technique. by Rotem, ASSA.
12. AE testing for blade damages in turbomachinery.
by Friedrich, R.
13. Use of AE in a test for beam lead bond integrity.
by Harman, G.G.
14. Particle size determination from AE.
by Leach, M.F.
15. Application of AE analysis in research-1
by Eisenblaetter, J.
16. The use of AE in a test for beam leadbond integrity.
by Harman, G.G.
17. Semiconductor measurement technology.
by Bullis, W.M.
18. Ultrasonic detection of fatigue damage in aircraft component.
by Green, R.E.
19. AE & mechanical properties of snow related to avalanche release.
by Brown, R.L.
20. NDI & the detection of fatigue.
by Scott, I.G.
21. Pulse analysis of AE signals.
by Houghton, J.R.
22. Inspection of nuclear reactor welding by AE.
by Prine, D.W.
23. AE from moving dislocations in aluminium.
by Kiesewetter, N.
24. AE parameters & their interpretation.
by Stone, D.E.W.
25. Application of AE analysis as a NDT method of production control.
by Schwarz, W.
26. Use of AE for characterising adhesive joint failure.
by Hill, R.
27. AE testing of high alumina cement concrete.
by Arringtun, M.
28. Sources of AE during plastic deformation.
by Schiller, P.
29. Burst AE during the bauschinger effect in FCC & HCP metals.
by Siegel, E.
30. Influence of the wave properties of a reinforcing beam on the radiation
from an infinite plate driven by a force parallel to the beam.
by Evseev, V.N.

31. Acoustical properties & structure of amorphous polymers.
by Perpechko, I, I.
32. AE system for monitoring components & structures in a severe fatigue noise environment. by Horsk, C, R.
33. Acoustic emission of a cutting process.
by Grabec, I.
34. Using the kinetic concept of fracture for calculating the AE intensity.
by Vainberg, V, E.
35. Network approach to a welding process & its experimental verification with SWE techniques. by Vahaviolos, S, J.
36. Acoustic emission fatigue analyzer.
by Scott, W, R.
37. Constitutive AE elastic-stress behavior of magnesium alloy.
by Williams, J, H.
38. Determination of losses in T-burner with circumferential slotted vent.
by Murthy, S, N, B.
39. Wideband piezoelectric receiver for the investigation of AE signals.
by Neshmashnyi, E, V.
40. Variations in frequency content of AE during Extension of HF-1 steel.
by Hartman, W, F.
41. Experiments on AE generated during rapid heating of tin single crystals.
by Stagni, L.
42. Immersion-technique for the detection of AE in carbon-fibre reinforced plastics pressure vessels. by Dean, D, S.
43. AE inspection during water-pressure testing of pressure vessels.
by Watanabe, T.
44. AE analysis during fatigue crack growth in steel.
by Sinclair, A, C, E.
45. Development of acoustic detection & diagnosis system for nuclear power plant. by Miyazawa, T.
46. AE a tool to study some metallurgical behavior of welding structures.
by Samman, J.
47. Note on AE in relation to cold cracking in the welding of steel.
by Granjon, H.
48. NRL engineering materials & chemistry divisions studies of the A-2 tube failure. by Rice, R, W.
49. Acoustic impact testing.
by Lloyd, P, A.
50. Theoretical aspects of AE spectral measurements.
by Simmons, J, A.
51. Schlieren study of the generation of different types of ultrasonic waves in thin plates. by Wiklund, J.
52. AE characteristics of structural steels.
by Ono, K.
53. AE characteristics of structures welded in mild steel.
by Lumb, R, F.
54. Nondestructive evaluation national bureau of standards.
by Berger, H.
55. A computer program for point source, transient, elastic, ultrasonic longitudinal and shear waves. by Nickerson, R, A.
56. Study, evaluate, measure, & calculate the thermal cracking of rocks.
by Handin, J.
57. Materials science division coal technology 8th quarterly report, '76.
by Argonne national lab.
58. AE-- New inspection technique.
by Dunegan, H.
59. NDT of electron beam welds to detect lack of fusion by AE.
Feist, W, D.
60. Linear converters for AE signals.
by Ganzha, A, A.
61. Using the AE method to check the strength of fiberglass rings.
by Detkov, A, Yu.

62. Effect of amplitude-response variations on the nonlinear properties of AE systems. by Romanov, V.V.
63. Propellant burning rate uniformity identified by ultrasonic AE. by Caveny, L.H.
64. AE investigation of pop-in crack propagation. by Saito, T.
65. Nondestructive examination of subsea structures using AE technology. by Parry, Dwight L.
66. Compressive microfracture and indentation damage in AL203. by Lankford, James Jr.
67. AE analysis on fatigue failure of LMFBR primary coolant piping. by Ono, H.
68. Inspection of nuclear power plant piping welds by in-process AE monitoring. by Prine, D.W.
69. Inspection of the primary circuit of PWR type light water reactors. by Asty.
70. AE from incremental collapse. by Tomachevsky, E.
71. Acoustic flaw triangulation on a thin spherical shell: an analytical solution. by Blake, H.W.
72. Signature analysis of AE from graphite/epoxy composites. by Russell, S.S.
73. The use of AE in a test for beam-lead, tab, and hybrid chip capacitor bond integrity. by Harman, G.G.
74. Considerations for AE monitoring of spherical kevlar/epoxy composite pressure vessels. by Hamstad, M.A.
75. AE during the tensile testing of zirconium alloys. by Cox, B.
76. Laser spot welding and real-time evaluation. by Saifi, Mansoor A.
77. Study on microfracture produced in rocks. by Kaneko, K.
78. Means of assessing the effect of periodic proof testing and NDE on the reliability of cyclically loaded structures. by Harris, D.O.
79. Development and experience with computerized acoustic incipient failure detection (IFD) systems. by Bloch, H.P.
80. Use of AE in a test for beam-lead, tab, and hybrid chip capacitor bond integrity. by Harman, George G.
81. Influence of inner surface defects on the fatigue strength of pipe subjected to cyclic internal pressure. by Yazaki, Y.
82. Measurement and significance of energy in AE testing. by Harris, D.O.
83. AE from superconducting magnets. by Nomura, H.
84. AE in subcooled nucleate pool boiling. by Nishihara, H.
85. AE analysis as a method of testing adhesive metal joints. by Brockmann, Walter.
86. Untersuchungen zur Schallemission von Rissbildung und Ausbreitung in Punktschweissverbindungen unter Last. ((Studies of AE during crack initiation and propagation in externally loaded spot welded joints)) by Crostack, H.A.
87. Wide-band optical-mechanical system for measuring acoustic emissions at high temperature and pressure. by Blacic, J.D.
88. An approach to AE signal analysis - theory and experiment. by Hsu, Nelson N.
89. AE in brittle materials. by Evans, A.G.
90. Program to develop acoustic emission-flaw relationship for inservice monitoring of nuclear pressure vessels. by Hutton, P.H.

91. Philosophy for nondestructive testing of fiber composites.
by Hamstad, M.A.
92. AE from fuel pellets in a simulated reactor environment.
by Kupperman, D.S.
93. Nondestructive inspection of steel (Phase I).
by Lai, D.M.
94. Technique for the deconvolution of the pulse shape of AE signals
back to the generating defect source. by Houghton, J.R.
95. Acoustic emissions during hydride formation.
by Northrup, C.J.M.
96. La recherche aerospaciale, bi-monthly bulletin No. 1977-2.
97. Timing instrumentation for a Crawford type standard burner.
by Jolley, W.H.
98. Materials evaluation by optical detection of AE signals.
by Palmer, C. Harvey.
99. Active acoustic detection of leaks in underground natural gas
distribution lines. by Jette, A. Norman.
100. Approach to AE signal analysis - theory and experiment.
by Hsu, Nelson N.
101. AE during twinning of zinc single crystals.
by Toronchuk, Jack P.
102. Correlation between AE and the fracture toughness of 2124-T851
aluminum. by Hamstad, M.A.
103. AE in brittle materials.
by Evans, A.G.
104. AE of plain concrete.
by Nielsen, John.
105. Analysis of roller/ball bearing vibrations.
by Braun, S.
106. As monitoring simplified using digital memory storage and source
isolation. by Hutton, P.H.
107. Vibration and acoustic radiation of elastically supported rectangular
plates. by Lomas, N.S.
108. Acoustic modes of a rectangular cavity containing a rigid, incomplete
partition. by Petyt, M.
109. Use of changeover designs in subjective experiments.
John, J.A.
110. Method of predicting L//E//Q created by urban traffic.
by Yeow, K.W.
111. Fan acoustic signatures in an anechoic wind tunnel.
by Dietrich, Donald A.
112. On the role of the shear trem in jet noise.
Ribner, H.S.
113. High temperature effects on the radiation impedance of an unflanged
duct exit. by Cummings, A.
114. Sound generated in the vicinity of the trailing edge of an upper
surface blown flap. by Tam, C.K.W.
115. AE response characteristics of metal matrix composites.
by Pipes, R.B.
116. Land gas turbine exhaust noise.
by Kantola, R.A.
117. Thermal analysis of capacitor discharge welding and its correlation
with observed stress wave emission (SWE). by Paek, U.C.
118. Assessment of damage in GRP laminates by stress wave emission and
dynamic mechanical measurements. by Sims, G.D.
119. AE evaluates condenser defects.
by Tymrik, Zane R.
120. Signature analysis methods and applications for rotating machines.
by Braun, S.G.

121. Sources of AE generated during the plastic deformation of 7075 aluminum alloy. by Carpenter, S.H.
122. Sound field of underexpanded supersonic jet impinging on a barrier. by Glaznev, V.N.
123. Sound radiation from an axisymmetrically driven three-layer structure. by Beshenkov, S.N.
124. Basic aspects of the application of frequency analysis. by Crostack, H.A.
125. Sound radiation from an infinite plate reinforced with a finite set of beames and driven by a point force. by Romanov, V.N.
126. AE measurements during the pressurization of a notched steel pressure vessel. by Grungi, G.
127. Detecting structural degradation by AE. by Kelly, Michael P.
128. Tracing fracture processes on the micro and macro scales in glasses and glass-ceramics by means of AE. by Jax, Peter.
129. Application of stress wave emission to crack propagation in metals - a crack propagation model. by Ravenhall, F.W.
130. AE and ductile crack growth in pressure-vessel steels. by Clark, G.
131. Detection of partial discharges in transformers using AE techniques. by Howells, E.
132. Detection of flaws in railroad wheels using acoustic signatures. by Nagy, K.
133. Controlling machines by ear. by Krouse, John K.
134. Stress wave emission: a bibliographical survey No 2. by Lucia, A.C.
135. Audible and ultrasonic acoustic emissions from composite solid propellants. by Bell, William A.
136. The nondestructive evaluation at the national bureau of standards. by Berger, Harold.
137. AE spectral analysis of fiber composite failure mechanism. by Egan, D.M.
138. Propellant burning rate and combustion uniformity identified by ultrasonic acoustic emissions. by Caveny, L.H.
139. Individual differences in sensitivity to traffic noise: an empirical study. by Griffiths, I.D.
140. Use of acoustic emissions analysis in investigations of behavior of materials during welding. by Steffens, H.D.
141. Sources of AE generated during the tensile deformation of pure iron. by Higgens, Frank P.
142. AE monitoring of fatigue crack growth. by Lindley, T.C.
143. Attenuation of elastic waves in pipelines as applied to AE leak detection. by Lord, Arthur E. Jr.
144. Considerations for AE monitoring of spherical Kevlar/epoxy composite pressure vessels. by Hamstad, M.A.
145. Acoustic incipient-failure detection systems are successful at Exxon. by Bloch, Heinz P.
146. Role of ion aggregates in rebinder-westwood environmental effects on wear as monitored by AE. by Cuthrell, Robert E.
147. Effect of strain rate on AE from fibre composites. by Rotem, A.
148. AE, a method for testing adhesive bonded joints in metals. by Brockmann, Walter.
149. Acoustic measurement of valve leakage rates. by Dickey, Joseph.
150. AE from welded beryllium. by Heiple, Clinton R.

151. Correlation between AE, plastic flow, and iron fracture under static loading in a wide range of temperatures and deformation rates - 2.
by Krasovskii, A.Ya.
152. AE analysis of the pressure vessel system of the tullnerfeld (GKT) nuclear reactor.
by Theiretbacher, M.
153. Correlation between AE, plastic flow and iron fracture under static loading in a wide range of temperatures and deformation rates - 1.
by Krasovskii, A.Ya.
154. Application of the AE method in the testing of specimens by external static loading.
by Reznikov, Yu.A.
155. Anisotropic AE behavior of HSLA steels.
by Ono, K.
156. Cutting process identification by AE analysis.
by Leskovar, P.
157. General principles of action of cracks as radiators of elastic waves and how their parameters are related to the characteristics of the AE signals.
by Maslov, L.A.
158. Using modal techniques to guide acoustic signature analysis.
by Allemang, Randall J.
159. Application of various methods of AE analysis during fatigue crack propagation in welded joints.
by Fischer, Tilman.
160. The role of ion aggregates in rebinder-westwood environmental effects on wear as monitored by AE.
by Cuthrell, Robert E.
161. Synchronous filter.
by Kaptsov, A.V.
162. Comparison of the AE generated by tensile and compression testing 7075 aluminum.
by Hamstad, M.A.
163. AE from beryllium.
by Heiple, C.R.
164. Energy calibration scheme for AE.
by Adams, R.O.
165. A note on the anisotropic AE behavior of HSLA steels.
by Ono, K.
166. Program to develop acoustic emission-flow relationship for inservice monitoring of nuclear pressure vessels. Progress report, February 1--July 1, 1977.
by Hutton, P.H.
167. Structural calibration technique for quantitative application of AE.
by Pollock, A.
168. Amplitude and frequency response of copper single crystals to one-dimensional transient stress waves.
by Buchar, J.
169. Review of the acoustic detection of boiling in nuclear reactors.
by Scarton, H.A.
170. AE of grinding.
by Roethel, Franc.
171. Application of a signal recovery technique to AE analysis.
by Esmail, E.
172. Noise radiated from hydraulic circuits.
by Martin, H.R.
173. Analysis of a Gaussian size distribution of rigid particles from their AE.
by Leach, M.F.
174. Particle size distribution characterization from acoustic emissions.
by Leach, M.F.
175. Analysis of polydisperse systems of rigid particles from acoustic emissions.
by leach, M.F.
176. AE monitoring of soil stability.
by Koerner, Robert M.
177. Testing resistance spot welds using stress wave emission (SWE) techniques.
by John, Min-Chung.

| | | | | | | | | | |
|---|----|---|-----|--|------|----|----|--|----|
| 原 | 出典 | Materials Evaluation / May '77 p59~68 | 番号 | 32 | 頁数 | 10 | 写真 | | 図表 |
| 文 | 題 | Acoustic Emission System for Monitoring Components and Structures in a Severe Fatigue Noise Environment | 著者 | Charles R. Horak and Alfred F. Weyhster | | | | | |
| | 目 | | 所属 | Advanced Development Sec. of Grumman Aerospace Corp. | | | | | |
| 和 | 題 | 疲労にお高雑音環境下における部品おの構造のAE監視法 | 抄訳者 | 須 清 彦 造 | | | | | |
| | 目 | | 所属 | 川崎重工(株) 技術研究所 | 発表月日 | | | | |

1. 概 要

コンヒュータ化したリアルタイム雑音排除装置と併せたAE監視方式を開発し、雑音の多い航空機部品の疲労試験に適用した。この方式は空間異相解析とAE雑音周波数特性と利用したもので、AE変換回路に入ってきた外部雑音の95~99%を遮断出来た。また高圧力鋼やT2鋼部品等の疲労試験で亀裂の発生伝播を検出し、位置判定が出来た。幅0.010"長さ0.002"深さの微小亀裂を検出し、これは疲労荷重振中の80%の荷重下で発見した。また砥粒擦傷の5倍の検出感度であった。

2. 目 的

疲労試験や航空機部品の高雑音環境下のAE監視技術と確立するために、雑音排除方式と確立する。この場合実用的なリアルタイム方式と推進し、コンヒュータによる空間異相解析とAEと雑音の周波数特性等に注目し、高感度、高性能のAE監視方式を開発(1)としている。(master-slave, coincidence and rise time detection)

3. 内 容

Fig. 1はtransducerの配列の典型的例で、master transducer (18-24)で囲まれた外に配置されたslave transducer (12, 14)によって、雑音発生源(28, 30)からの雑音を捕捉し、これによってmaster transducerで雑音を拒絶する方式を示している。またmaster transducerで囲まれた領域内でも、検出領域は更に各transducer迄の時間異相解析によって、狭小領域に限定して監視することが出来る。

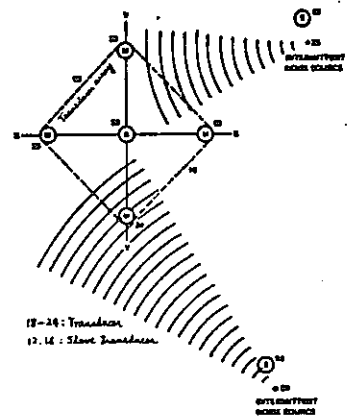


Figure 1 - Drawing of master-slave discrimination and flow source location technique.

Fig. 2は、雑音排置方式のブロックダイアグラムの一例である。

原理的には次の3点が雑音排除の基本である。

- (1) master-slaveでの雑音排除
- (2) rise timeでの雑音排除
- (3) coincidence detection

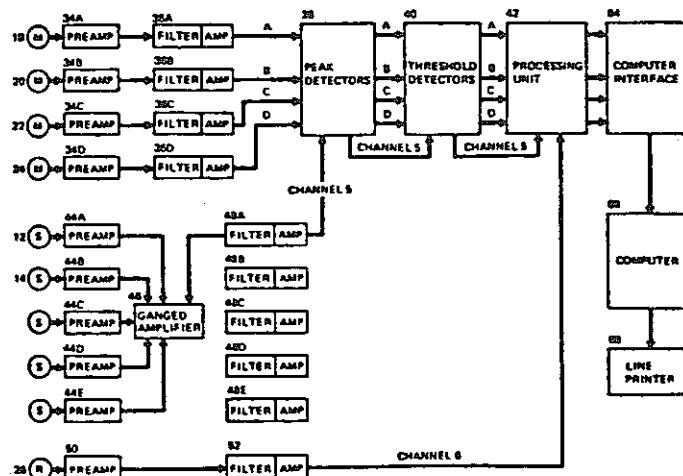


Figure 2 - Block diagram of acoustic emission source location system integrated with noise discrimination techniques.

疲労試験に用いたAE監視の主要条件は次の通りである。

- over all system gain 80 and 90 dB
- nominal operating frequency 300 KHz
- threshold 0.5 volts
- Piezoelectric sensors (1/2") -80 ~ -85 dB RE 1 volt/micobar at 300±20 KHz
- input signals 300±50 KHz pass band preamplifiers

Fig. 3 は Ti-6Al-4V 溶接板の疲労試験時の一例で、疲労雑音と検出される AE 信号との関係を示している。疲労雑音は排除され、その間の AE が検出される一方で、疲労雑音と同時に発生する AE は検出出来ない。しかし、雑音排除なしでは 15 秒内に 36 件の誤信号が捕捉されているが、雑音排除装置が働いた場合は 16 時間で 15 件の誤信号を得たに過ぎない。

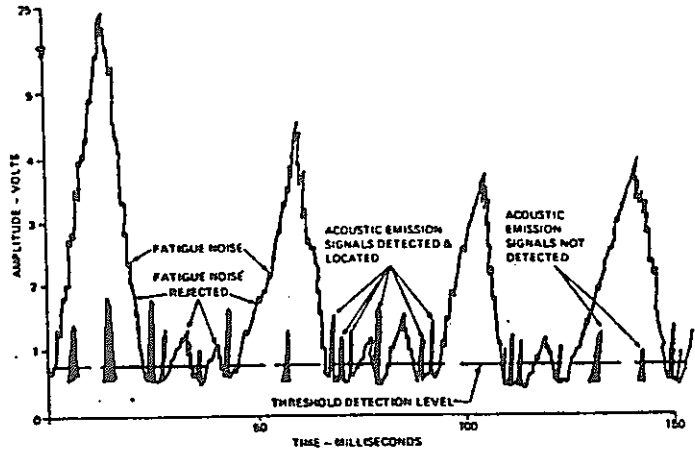


Figure 3—Detection of acoustic emission signals during fatigue testing.

Fig. 4 は実際に亀裂が発生した疲労試験片の AE の比較で、雑音排除をしない 8B (下段) の場合では亀裂発生点の確認は不可能であるが、雑音排除をした 8A (上段) では、実際の欠陥位置と AE 信号とがよく一致している。また、亀裂発生が AE で検出されてから数分ない、数時間後に試験片は破断している。更に、表面亀裂の出る前に亀裂を検出したものもあるが、内部亀裂の大きさを決めることは出来なかった。

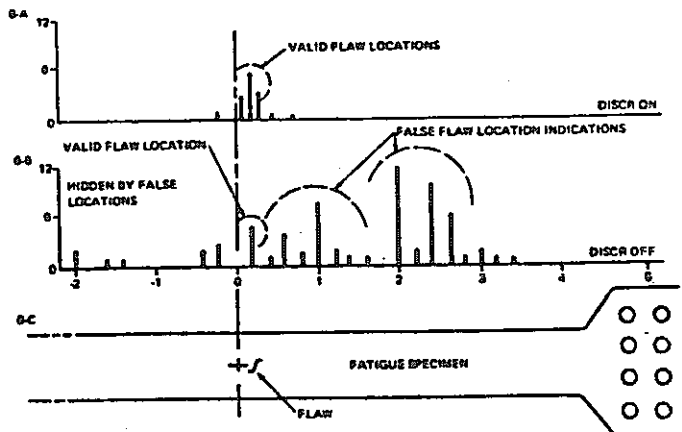


Figure 4—Comparison of actual fatigue crack propagation data with and without discrimination functions.

Ti の疲労試験では、一旦亀裂が出てから何サイクルも亀裂進展が停滞したり、また 4330V 鋼では、Fig. 5 のように荷重の懸り方による AE の検出状況の差が認められた。Fig. 5 では方形波の急激な荷重変化よりも正弦波の緩い荷重変化の場合に AE 信号が著しく、荷重速度や荷重時期によって亀裂進行状況が相異なるとを解析

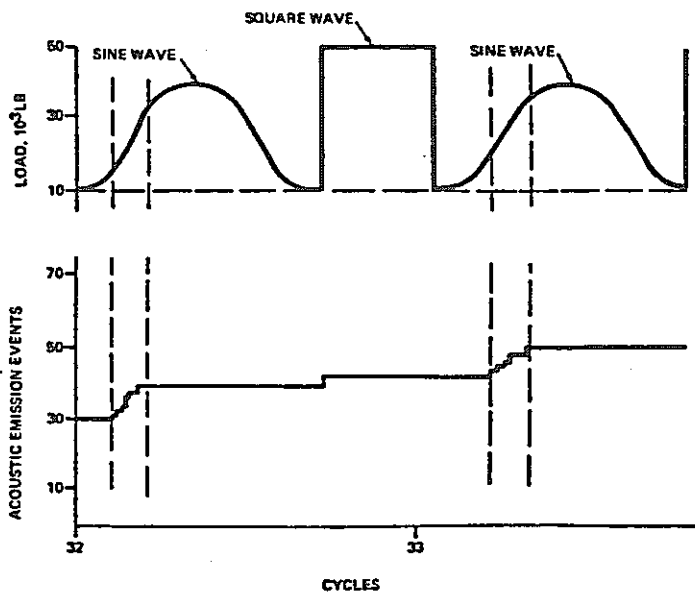


Figure 5—Acoustic emission activity during varied fatigue cycles. Most crack propagation takes place during the slow rise time fatigue cycle and at low stress.

すなわち、AEの間接的利用法ではあるが、AEの有効利用の一つである。

4. 結 論

Grumman社で開発したAE方式は空間異相を利用した雑音排除方式 (spacial noise discrimination) で、欠陥源の位置判別法と確立したもので、航空機用材料および部品の高い疲労試験時における亀裂の発生伝播と検出、位置と判別することに成功した。このAE検出方式は至ゲージ MT よりも、高張力鋼の亀裂発生と検出感度が優れていた。また、これらの亀裂伝播現象に関する疲労試験データは、解析手段としてのAE監視の有用性を例示している。

5. 主な引用文献

1. Nakamura, V., *Materials Evaluation* 29 (Jan. '71): 8-12
2. Bailey C.D., *Materials Evaluation* 34 (Aug. '76): 165-71

6. 評価および問題点

1. 疲労試験や FBR の ISI 等: AE を用いる場合の雑音排除方式とは示唆となる。
2. Grumman では航空機搭載用の AE 装置を開発中であり注目される。
3. Grumman では、新考案の雑音排除方式と近く発表予定とあり注目される。この方式は探査領域内での雑音排除も可能としている。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|-----------------------------------|------|---|----|---|----|---|
| 原 | 出典 | IEEE Trans. Ind. Electron. Control | 番号 | 25 | 頁数 | 6 | 写真 | 0 | 図表 | 9 |
| 文 | 題 | Network Approach To a Welding Process and Its Experimental Verification With Stress Wave Emission Techniques | 著者 | Vahaviolos S.J., Paek U.C. | | | | | | |
| | 目 | | 所属 | Western Electric Eng. Res. Center | | | | | | |
| 和 | 題 | 溶接への回路網アプローチとSWE法を用いたその実証 | 抄訳者 | 増田 順一 | | | | | | |
| | 目 | | 所属 | 電電公社 武蔵野通研 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要

放電溶接法をより一層明らかにするため stress wave emission (SWE) モデルを用いた。溶接電源と SWE センサーの間の変換関数の応答特性をもとに両者の検討を行ない、以下の結論を得た。溶接のリアルタイム評価基準を溶接の熱分析をもとに考案した。溶接工程に SWE 法を適用することにより、非破壊検査法を確立できた。

2. 目的

溶接工程において溶接材料と SWE 検知トランスジューサーの特性をもとに、非破壊検査基準を確立する。

3. 内容

溶接パルスの応答

溶接工程と SWE 検出の回路網は Fig 4 (a) のように表わされる。

その時の、変換関数 $H(s)$ の応答は Fig 4 (b) のように表わされる。ここで

$i(t)$: 供給電源の電流

$V_T(t)$: 出力信号電圧

の間には、システムのインパルス応答特性 $h(t)$ を介して

$$V_T(t) = \int_0^t h(\tau) i(t - \tau) d\tau.$$

の関係があり、 $h(t)$ は近似的に以下のごとくなる。

$$h(t) = \frac{B}{A} e^{-\alpha t} (2\omega_0 \cos \omega_0 t - \omega_0^2 t \sin \omega_0 t).$$

ここで A, B はそれぞれ入力、出力側のピーク値に関する定数 (Fig 4 (b) 参照)

$\omega_0 = \frac{\alpha \omega}{\beta}$ である。 ω はトランスジューサーの中心周波数である。

溶接の適、不適の判断

$V_T(t)$ の検波波形 $R(t)$ を $R(t) = 1$ or 0 と判断させ、1回の溶接工程について、

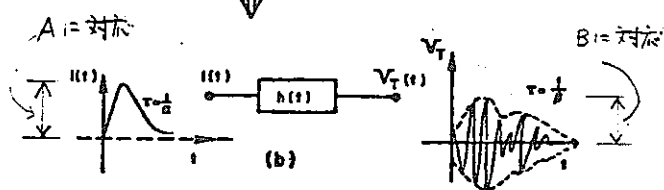
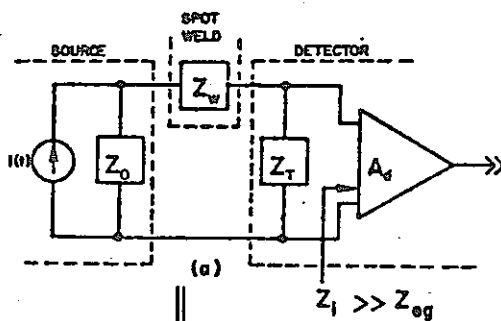


Fig. 4. (a) Network representation of the welding process and SWE amplifier-detector. (b) Response of transfer function, $H(s)$.

$\Lambda(R) = \sum_{t=0}^T R(t)$ を求める。ここで、 T : 1回の全溶接工程時間
 溶接の適・不適の評価は以下の基準で行なう

$$\Lambda(R) \stackrel{H_1}{\leq} \eta$$

where

- H_1 final "GO" (acceptable weld);
- H_2 final "NO-GO" (nonacceptable weld);
- η final threshold.

η は 溶接条件、材料等に依存する定数である。

しきい値の決定と実際への応用

パラジウムテープに溶接した CuBe ワイヤの引きはがし時の 引きはがし力
 とその時の AE測定結果から、 η は実験値として 200 が望ましかった。
 一応計算上、トランスミッターの周波数、定数 α, β , パラジウム中の
 熱侵透深さ δ をもとに η を
 求めると 190 となり、

実験結果とほぼ

一致した。

実際に用いた装置を

Fig 9 に示す。

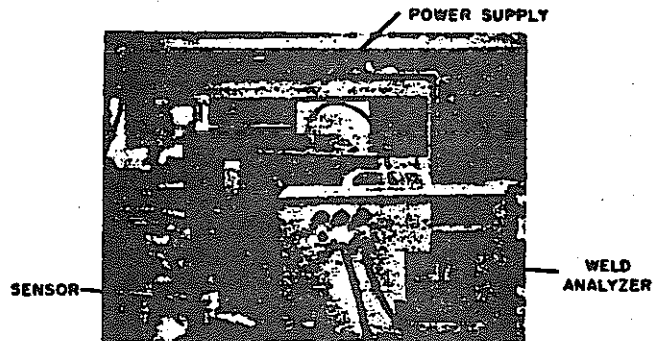


Fig. 9. Equipment now in use by Western Electric Company using the techniques discussed.

4. 結 論

溶接工程に SWE法を適用することにより、溶接の非破壊検査法を
 確立できた。

5. 主な引用文献

- (1) P.N. Knowlson: British Welding Journal (1965), 167.
- (2) H. Duregan, D. Harris: Ultrasonics I (1969), 160.

6. 評価および問題点

さらに検討を進めると 溶接部のオンライン検査法として確立される
 可能性がある。

| | | | | | | | | | |
|-----|--|-----|------------------------------|------|---|----|--|----|---|
| 原典 | Materials Evaluation/July 1977 35 NO.7(1977)47~51 | 番号 | 40 | 頁数 | 5 | 写真 | | 図表 | 6 |
| 文目 | Variation in Frequency Content of Acoustic Emission During Extension of HF-1 St. | 著者 | W. F. Hartman, R. A. Kline | | | | | | |
| | | 所属 | Technology for Energy Corp., | | | | | | |
| 和文目 | HF-1鋼の引張時のAE信号の周波数成分の変化 | 抄訳者 | 中島玉雄 | | | | | | |
| | | 所属 | 名古屋工業大学 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要
 焼入れおよび焼戻しされた HF-1 鋼に、連続して静的引張荷重を与之下時に発生する AE の周波数成分を解析された。
 3種類の異なる周波数スペクトルが観測された。これらはマイクロ塑性域と塑性域および回復後の変形に対応する。
 このような AE の周波数解析は、構造物の健全性評価に対する感度の高い計測手段であることが示された。

2. 目的
 AE 信号を特徴づけ、そしてそれとその発生プロセスに関連するものに有力な手がかりは、これらの AE 信号の周波数スペクトルに含まれる情報を分析し解釈する能力にかかっている。
 本研究は、HF-1 鋼の引張試験時の AE 信号の周波数スペクトルを解析し、それと構造物の健全性評価に役立つことを目的とする。

3. 内容
 HF-1 鋼 (1.1% C, 1% Si, 1.8% Mn) を、試験断面が $0.06 \text{ in}^2 (1.5 \text{ mm}^2) \times 0.23 \text{ in} (5.8 \text{ mm})$ のゲージ長さ $1 \text{ in} (25.4 \text{ mm})$ の試験片を作り、雑音発生の少ない試験機を用いて引張試験を行なった。
 引張荷重は、貯水タンクからの水流を荷重バーの先端に取付けた路器に負けて、連続的に荷重を増加させるようにした。
 試験片の端面に取付けられた圧電型センサ (中心周波数 1.1 MHz) からの信号は、プリアンプおよび計数装置を合計 100 dB 増幅され、100 kHz ~ 1 MHz のバンドパスフィルタを通り、VTR に記録された。
 この VTR を再生して、サンプルレート 0.5 Ms x 2048 点のトランジェントレジタイザに AE 信号だけを抽出して記録し、これを繰返し再生してスペクトル分析器で周波数成分を求めた。

合計 18 本の試験片がテストされ、その応力-歪曲線はほぼ同一であった。Fig. 1 は、代表的な応力-歪曲線と AE 特性がある。試験初期の AE 発生は極めて少なく、多くの AE は降伏応力の 40 ~ 80% の領域で発生し、降伏応力より大きな応力まで AE の発生がみられた。降伏応力前後の AE 発生は少なかった。

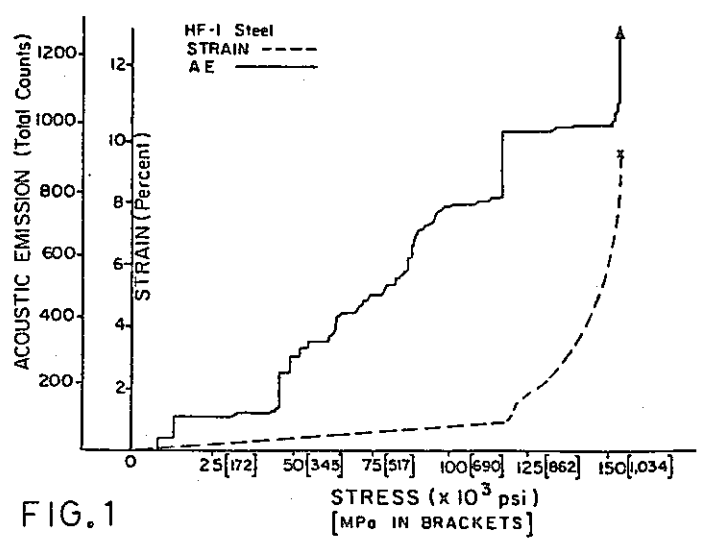


FIG. 1

最大応力の約95%に達するまで、塑性域からのAE発生は非常に少なかった。
 これは、むしろ局所的な塑性変形が、降伏応力から最大応力の95%に間にある構造物の健全性評価にAEの発生数を用いることは誤りを招く。

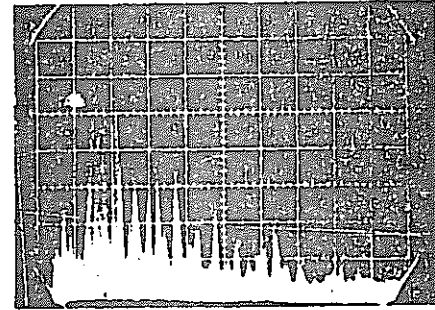
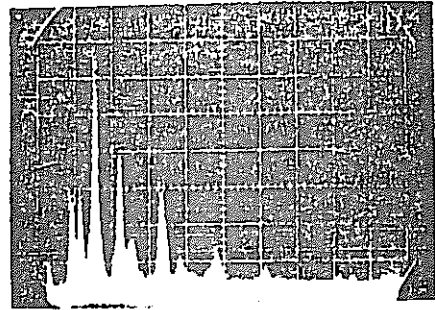
HF-1鋼の引張試験時に、3種異なる周波数スペクトルを観測された。

その1例をFig. 2に示す。

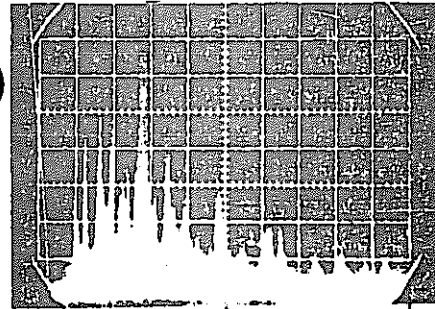
弾性領域(マクロ降伏応力以下)において b) AEは150kHzに鋭いピークをもち、それ以上の周波数を急激に低下する(Fig 2a)降伏応力に達するとマイクロ塑性が始まるため、この150kHzのピークは拡大する(Fig 2b)応力が塑性域に達すると主AE周波数は250kHz付近へピークが移動する(Fig 2c)このピーク周波数の移動は毎回の試験でみられ、最大の移動は150kHz-300kHzであった。

再荷重試験でカイザー効果を調べるために実施され、この試験片では室温で少くとも2回AEが回復することを判った。この再荷重時に発生するAEは、最初の荷重時のAEと比較して、その波形および周波数成分が明らかに異なっていた。

a)



c)



0 500K 1M
 FIG.2 (Hz)

4. 結 論

HF-1鋼の引張試験時のAEは、マイクロ塑性域と塑性域および回復後の変形に対応して3種異なる周波数スペクトルを示した。

HF-1鋼は破断直前までほとんど塑性によるAEも発生しつづいた。

AE信号の発生数と振幅下げればこの材料の破壊の予知はできつづいたが、この信号の100kHz~200kHz領域と200kHz~300kHz領域の周波数成分を調

5. 主な引用文献

ベズと、構造物の健全性のより高感度を評価が可能となる。

1. Kaiser, J. "Untersuchungen über das Auftreten Geräuschen Beim Zugversuch." PhD thesis, Technische Hochschule, München, Germany, 1950.
2. Schofield, B. H. "Acoustic Emission Under Applied Stress." ASD-TDR-63-509, Lessels and Associates, Waltham, MA, 1963. (他10件)

6. 評価および問題点

AE信号の周波数成分によって構造物の健全性を評価する方法の例が示された。特に破断直前のAE発生は少ない材料では有望な方法であろう。

HF-1鋼以外の材料での実験例と、実機試験で使用できるオンライン周波数解析装置の開発が望まれる。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|--------------------------|------|---------|----|---|----|---|
| 原 | 出典 | NDT INTERNATIONAL Oct. | 番号 | 42 | 頁数 | 6 | 写真 | 0 | 図表 | 8 |
| 文 | 題 | An immersion-technique for the detection of acoustic emission in carbon-fibre reinforced plastics pressure vessels | 著者 | D.S. Dean, L.A. Kerridge | | | | | | |
| | | | 所属 | (英) 国防省 | | | | | | |
| 和 | 題 | カーボンファイバー強化型プラスチック圧力容器におけるAE計測のための浸水技術 | 抄訳者 | 松本 陽二 | | | | | | |
| | | | 所属 | 株御製鋼 | 発表月日 | 79.5.31 | | | | |

1. 概 要

カーボンファイバー強化プラスチック (CFRP) ロケットモーターをAE計測するための方法を記述している。満水した容器内中央にセンサーを配置し、AEを検出することにより、非等方性の材料でも非破壊的に検査できる可能性を示している。

2. 目 的

通常のAE計測方法において、CFRPロケットモーターケースを検査すると、AE信号が得られ、得られたとしてもその解析は非常に難しい。そこで著者は容器内中央にセンサーを配置し、水を媒体として伝わってくるAEを計測することにより、これらの向是問題を解決しようとしている。

3. 内 容

Fig. 2に示すように、容器にセンサーを配置し、容器内に水がある場合と無い場合についてAEを計測した。その結果をFig. 3, 4, Table 2, 3に示す。

1. 減衰について

Fig. 3はTransmitterからの音と、容器表面の各位置で計測したもので、センサーがTransmitterから離れるにつれて減衰し、その度合いは非常に大きい。

Fig. 4はAEを種々の位置(13ヶ所)で発生させ、浸水したセンサーでその音を検出したものである。両図を比較すると、浸水したセンサーで検出した音が減衰が少なく、また計測位置によるバラツキも少ないのがわかる。

2. 伝播について

Table 2は水の無い場合の結果で、CFRPを媒体とし音が伝播したと計算すると、 $2 \sim 35 \times 10^6 \text{ mms}^{-1}$ となり、この速度はCFRP中の伝播速度とは一致しない。一方空気を媒体とした場合について計算すると、 $0.33 \sim 0.34 \times 10^6 \text{ mms}^{-1}$ となり、空気中の伝播速度とよく一致している。従って音は空気を伝って伝播していると考えられる。

Table 3は水の場合の結果で、種々の伝播経路を用いて計算すると、緑と青色のセンサーは、水中を伝播し、黄色のセンサーで反射した音とまず最初に検出した後、次にCFRPで反射した音をキャッチしているのがわかる。

3. 周波数解析

水中のセンサーではTransmitterで発振した周波数を検出しているが、容器表面のセンサーでは他の周波数を検出している。

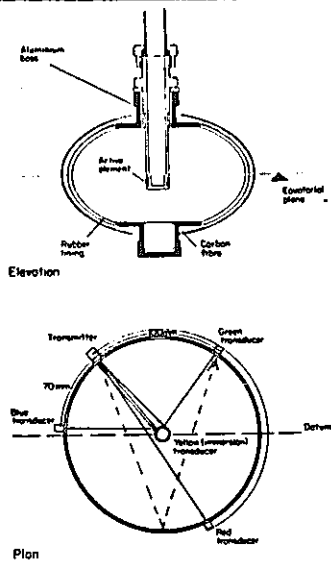


Fig. 2 The oblate spheroid has rubber lined carbon fibre reinforced-plastics walls and aluminium fittings; three transducers were placed on the outside surface

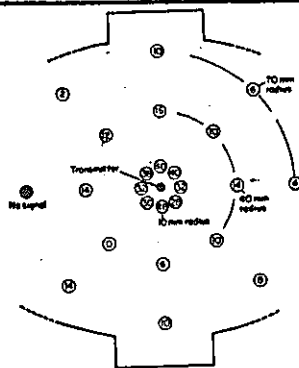


Fig. 3 Attenuation readings (in dB) were taken at various points around the transmitter

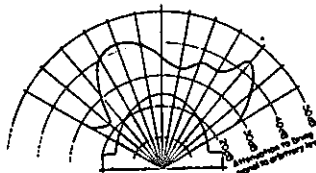


Fig. 4 Attenuation varied between 22 and 33 dB at the surface of the spheroid

Table 2. Signal transmission in air-filled spheroid

| Transducer | Channel gain [dB] | Time order of pulses | Pulse amplitude [μ V] | Travel time [μ s] | Medium | Measured distance [mm] | Calculated velocity [$\text{mm}^{-1} \times 10^3$] |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|--------|------------------------|--|
| Red | 60 | 1 | 3.1 | 55 | CFRP | 190 | 3.45 |
| | | 2 | 4.0 | 435 | Air | 150 | 0.34 |
| Green | 60 | 1 | 12.6 | 40 | CFRP | 92 | 2.3 |
| | | 2 | 4.0 | 415 | Air | 140 | 0.34 |
| Blue | 60 | 1 | 18.9 | 30 | CFRP | 65 | 2.16 |
| Yellow | 60 | 1 | 18.4 | 210 | Air | 70 | 0.33 |

Table 3. Signal transmission in water-filled spheroid

| Transducer | Channel gain [dB] | Time order of pulses | Pulse amplitude [μ V] | Travel time [μ s] | Medium | Measured distance [mm] | Calculated velocity [$\text{mm}^{-1} \times 10^3$] |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|--------|------------------------|--|
| Red | 40 | 1 | 4200 | 105 | Water | 150 | 1.42 |
| Green | 40 | 1 | 1400 | 105 | Water | 150 | 1.43 |
| | | 2 | 1400 | 210 | Water | 268 | 1.37 |
| Blue | 40 | 1 | 700 | 100 | Water | 150 | 1.50 |
| | | 2 | 600 | 220 | Water | 208 | 1.35 |
| Yellow | 40 | 1 | 4900 | 50 | Water | 70 | 1.40 |

4. 結 論

非等方性の材料で作られた容器でも、水を媒体としてAE計測すれば、減衰、周波数変化、伝播速度のバラツキ等をかなり軽減でき、正確な情報が得られる可能性がある。

5. 主な引用文献

6. 評価および問題点

位置標定等を含めて、今後より詳細な検討が必要と思われる。

| | | | | | | | | | |
|-----|--|-----|------------------|------|------------|----|---|----|---|
| 原典 | NDT International, V9, N5, Oct '76 | 番号 | 43 | 頁数 | 6 | 写真 | 7 | 図表 | 5 |
| 文題 | Acoustic Emission Inspection during Water-Pressure Testing of Pressure Vessels | 著者 | 渡辺哲夫, 走崎信也, 有田秀起 | | | | | | |
| | | 所属 | 新日本製鉄(株) | | | | | | |
| 和文題 | 圧力容器の水圧試験中のAE検査 | 抄訳者 | 渡辺哲夫 | | | | | | |
| | | 所属 | 新日本製鉄 | 発表月日 | S54. 5. 31 | | | | |

1. 概 要 (エンジニアリング事業本部技術協力事業部)

各種の溶接欠陥をつけた圧力容器の破壊実験に於いて、欠陥形状の変化とAE発生状況は顕著な対応を示した。

又、不安定な欠陥を持たない普通鋼製圧力容器の母材部に於ける延性破壊実験に於いては、AE法による延性破壊の予知、検出は困難であつた。

2. 目 的

大型圧力容器の耐圧試験時の欠陥の挙動、特に欠陥局部の破壊の進展の程度と、その際に計測されるAE情報との間の明確な対応づけを確認し、圧力容器耐圧試験時のAE検査法の有効性を調べようとしたものである。

3. 内 容

(1) 各種の溶接欠陥をつけた圧力容器の欠陥部破壊実験

試験圧力容器は直径4.5m、長さ4.84mの円筒状で、その使用鋼材は厚さ22mmのSB-42鋼板内面に厚さ3mmのSUS-38を圧延圧着したものである。この容器の内、外面各所に表2に示す如き各種の欠陥を合計15箇所作った上で、N.A.I.S.-32 AE計測システムを用いてAE計測(発生時刻計測、発生位置探定、波高値計測等)を行いながら、水圧試験が行われた。

試験水圧はこの容器の設計圧力(26 kg/cm²)をはるかに越えて、急激

表2 破壊実験における溶接欠陥の変化とAE挙動

| 種類 | 記号 | 製作欠陥確認状況(水圧試験前) | 同左(水圧試験後) | AE 検定数 | 平均波高値 (センサー 出力 mV) | 発生パターン |
|------------|------|---------------------------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| われ | C1-1 | 微小内部われ及融合不良(設計欠陥製作失敗) | 変化なし | 0 | 0 | 全工程発生 高圧で増大 高圧で急増 全工程頻発 散発 |
| | C1-2 | 内表面われ、含ブローホール | われ拡大 | 45 | 1.6 | |
| | C2-1 | 内部われ、含ブローホール、融合不良 | われ顕著に拡大 | 74 | 5.0 | |
| | C2-2 | " " | " | 22 | 7.4 | |
| | C3-1 | " " | " | 84 | 6.5 | |
| | C3-2 | " " | われ拡大 | 8 | 0.8 | |
| | C4-1 | 微小内部われ及融合不良(設計欠陥製作失敗) | 変化なし | 0 | 0 | |
| | C4-2 | " " | " | 0 | 0 | |
| スラグ 巻込 | S1-1 | スラグ巻込、含微少われ、融合不良 | 微小われ若干拡大 | 10 | 0.8 | 散発 散発 |
| | S1-2 | " " | 変化なし | 2 | 0.8 | |
| ブロー ホール | B1-1 | ブローホール、含微少われ、融合不良 | " | 0 | 0 | |
| | B1-2 | " " | " | 0 | 0 | |
| 融不 合良 | L1-1 | 融合不良、含微少われ、スラグ | " | 0 | 0 | 低圧時のみ発生 |
| | L1-2 | " " | " | 3 | 0.9 | |
| 凹み | 凹 | 内表面グラインダーカット(幅15mm、深10mm) | " | 0 | 0 | |

な塑性変形の起りはじめた 85.5 kg/cm^2 まで昇圧されたが、その間に顕著に局部破壊が進展した割れ欠陥の部分からは突発型大振幅 AE 事象が集中頻発した。

しかしながら、この水圧試験前後の UT, RT などでも全く変化の確認できなかつた。微小割れ、スラグ巻込、融合不良、ブローホール及び凹み等の欠陥部からは殆んど、或は全く突発型 AE 事象の発生が見られなかつた。

(2) 普通鋼製圧力容器の延性破壊実験

この試験圧力容器は直径 1 m 、胴長 1.2 m の鏡板付き円筒状で、使用鋼板は SS-41、厚さ 6 mm 、設計圧力 1 kg/cm^2 として製作され気蓄器として長期間使用されてきたものである。X線検査の結果では、溶接線には製作時兵で発生したブローホール、融合不良、スラグ巻込などの欠陥が全線にわたって多数発見されたが、割れ性の不安定欠陥は存在していなかつた。

前項同様、N.A.I.S.-32 を用いて AE 計測を行いつ、水圧試験を行ったが、一部の溶接箇所から微小振幅の AE 事象の集中発生はあつたが、 40 kg/cm^2 を超えて容器全体が顕著な塑性変形を示しても溶接部には特に異常は認められなかつた。

結局 45.5 kg/cm^2 で母材部より延性破壊を起したが、その破壊箇所からも殆んど突発型 AE 事象を計測することができなかつた。

4. 結 論

大型圧力容器の溶接部の割れ性欠陥で、応力下で顕著に成長、拡大するものは AE 法で検出可能であるが、ブローホール、スラグ巻込などの安定な欠陥は AE 法では全く検出できない。又、延性破壊現象も AE 法による検出は困難である。

5. 主な引用文献

渡辺, 走崎, 有田 ; "圧力容器耐圧試験時の AE 検査法の有効性について" 圧力技術, 14 巻, 4 号, p.34 ~ p.39

(上記論文の英訳版が本論である。)

6. 評価および問題点

大型構造物の実用的 AE 検査法を確立するために行はれた大型破壊実験結果の報告の一つであり、これらの詳細データの解析結果を基礎にして N.A.I.S. 方式欠陥有害度評価法が作り上げられた。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|---|------|----|----|---|----|----|
| 原 | 出典 | Materials Science and Engineering, 28 (1977) | 番号 | 44 | 頁数 | 11 | 写真 | 1 | 図表 | 10 |
| 文 | 題 | Acoustic Emission Analysis during | 著者 | A.C.E. Sinclair, D.C. CONNORS, C.L. Forth | | | | | | |
| | 目 | Fatigue Crack Growth in Steel | 所属 | GECB | | | | | | |
| 和 | 題 | 鋼材の疲労亀裂進展中のアコースティック | 抄訳者 | 藤沢 和夫 | | | | | | |
| | 目 | エミッションの解析 | 所属 | 住友金属中央研究所 | 発行月日 | | | | | |

1. 概 要 3種の鋼材(A533B鋼, 低炭素鋼, H1溶接金属)について疲労亀裂進展中のAEを位置標定装置を使用して調査した。事象数は応力拡大範囲 ΔK の増加とともに増加するが, 単位亀裂面積生成に対応して発生する事象数で定義した γ は ΔK に独立であり3種の鋼材で 2~44 events/mm² であつた。A533B鋼ではAEの振幅分布は ΔK により変化した。

2. 目 的 構造物破壊の主原因である疲労破壊の検出に AEE 適用するに際し, 疲労亀裂の大きさあるいはその進展速度が危険領域になる前に AE で検知できるかどうかを明らかにするために行った実験結果を提供すること。

3. 内 容 Fig.1は A533B鋼の試験片と AE センサの配置を示す。 ΔK を変化して, 応力上昇中の 80% 期間 AE 計測を行った。ラバビサポート部からのノイズは位置標定により除いており, 疲労亀裂付近の AE 事象数と ΔK との関係及び亀裂進展と ΔK との関係が次のように得られた。

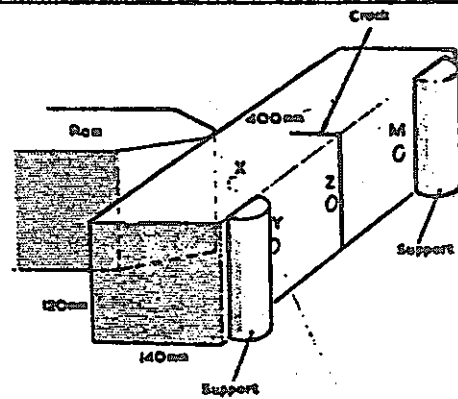


Fig.1 (M×YZ) AE センサ

$$\frac{da}{dn} = 1.30 \times 10^{-5} \Delta K^{2.5} \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dx} = 6.50 \times 10^{-5} \Delta K^{2.5} \quad (2)$$

(1) (2) 式より 単位亀裂面積生成に対する事象数 N は一定 (γ) であると推定でき下式が成立する

$$N = \gamma A \quad (3) \quad (A \text{ は 新しく生成される亀裂面積})$$

この γ は 材料 および 試験条件により異なると考えられ A533B鋼では 44 events/mm² であつた。又 振幅分布は ΔK が最大の時大振幅成分が少くはつた。

低炭素鋼については Fig2 に示すようなノズル付 11°/17° の木圧疲労を行つた。内面の亀裂速度と ΔK との関係は $\frac{da}{dn} \sim \Delta K^{3.6}$ であり AE 事象率と ΔK との関係は $\frac{dN}{dn} \sim \Delta K^{2.0}$ であった。 δ は $2\mu\text{m}/\text{cycle} \sim 7\mu\text{m}/\text{cycle}$ の間で $34 \sim 18 \text{ events}/\text{mm}^2$ くらいだった。

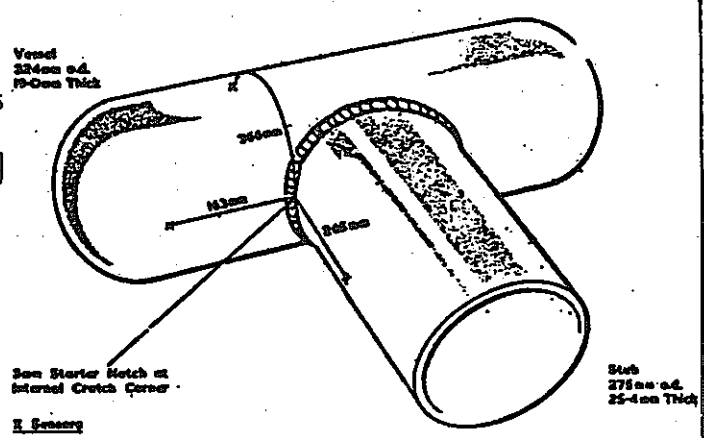


Fig 2 X印 AEセンサ

疲労亀裂を含む ボイラドラム
ノズルから切り出した HI 溶接

金属試験片については 片振り疲労試験中の引張り応力時の $1/5$ 期間 AE を計測した。この時の δ は $2.2 \text{ events}/\text{mm}^2$ であった。この低活動性は、亀裂の開きによる AE を主として計測し 亀裂先端の AE を余り計測しなかつたことによると推定した。

AE の発生原因としては (i) 塑性域の拡大 (ii) フラック先端のマイクロ破壊、(iii) 亀裂の開きの 3つが考えられるが 本実験結果と δ の考察によれば (ii) (iii) が主原因と思われる。

4. 結 論 疲労亀裂評価に 2つの方法が 提案された。1つは パラメータ δ を知ることにより 事象数より 亀裂生成面積を知ることであり もう一つは 振幅分布情報より ΔK の増加を知ることである。疲労亀裂進展のミクロな過程と AE との関係について 更に研究が必要である。

5. 主な引用文献

- | | |
|---------------------|--|
| 1 A.C.E. Sinclair 他 | GEGB Rep. RD/B/N 3471, 1975 |
| 2 " 他 | Conf. on Periodic Inspection of Pressurised Components, 3rd, London 1976 |
| 3 A. Tobias 他 | GEGB Rep. RD/B/N 3188 1974 |

6. 評価および問題点

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|-------------|----|---|----|---|----|------|
| 原 | 出典 | Toshiba Rev. No.108 3月~4月(1977),13~16 | 番号 | 45 | 頁数 | 4 | 写真 | 1 | 図表 | 8 |
| 文 | 題 | Development of Acoustic Detection and Diagnosis System for Nuclear Power Plant | 著者 | 宮沢 俊雄 他 | | | | | | |
| | | | 所属 | 東芝原子力研究所 | | | | | | |
| 和 | 題 | 原子力プラント用音響検出と診断システムの開発 | 抄訳者 | 上杉 信夫 (有井代) | | | | | | |
| | | | 所属 | 東芝 | | | | | | 発表月日 |

1. 概要

(第1原子力システム部)

音響技術も原子力プラント診断へ適用する際に重要な開発項目の一つである高温用音響検出器と、診断システムの一つであるAEモータシステムについて述べている。

2. 目的

開発された600°Cで使用可能な高温用音響検出器の構成、感度の周波数特性、および、診断システムの一つとしてAEモータシステムを例にあげ、BWRの起動時と定格運転時に測定したバックグラウンドノイズについて述べている。

3. 内容

Fig. 1は、開発された高温用音響検出器の基本構成を示す。アクティブ素子にはLiNbO₃板が用いられ、ハウジングは、種々のガスと原子炉冷却材で使用可能なようにSUS材が用いられている。信号は高温用同軸ケーブル(MI cable)で70°へ導かれる。

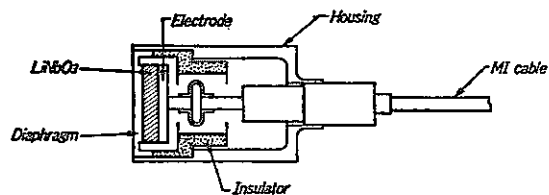


Fig. 1. Fundamental sensor construction.

Fig. 2は、高温用検出器の感度の周波数特性を示す。理論値と実験値はほぼ一致し、感度は約-155dBである。感度は相互校正法によって求めた。

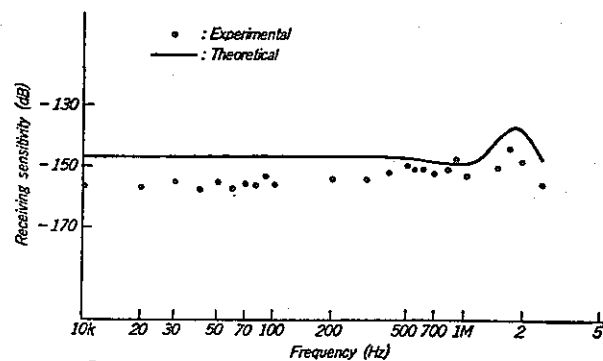


Fig. 2. Frequency response in water pool at room temperature.

Fig.3は、温度特性を示す。各温度においても常温水中における特性とほぼ同じ特性を示している。600°Cの高温で十分使用可能であることを示している。

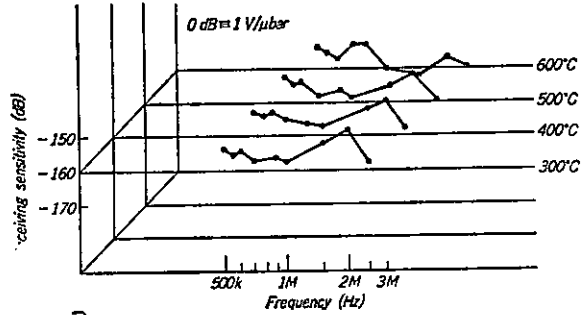


Fig. 3 Frequency response in liquid sodium at elevated temperatures.

Fig.4は、フロント診断システムの開発で重要なパラメータであるバックグラウンドノイズの測定結果を示す。BWRの起動時と定格運転時のデータであるが100 KHz以下でレベルが非常に大きいこと、100 KHz以上では、1/2レベルは、35ubar以下であることを確かめる。

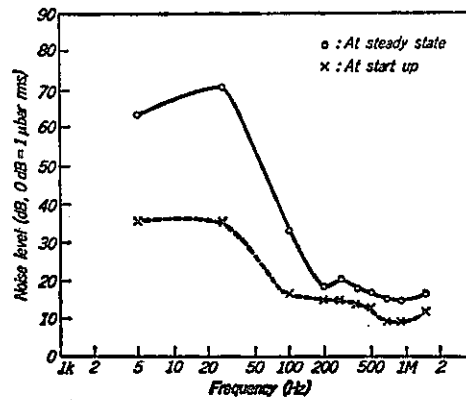


Fig. 4 BWR background noise frequency

4. 結論

フロント健全性モニタへのファーストステップとして開発した検出器の特性と、その応用システムとしてのAEモニタシステムを例にあげて述べた。音響信号と異常との対応付けや最適信号処理方式等の研究が今後必要と思われる。

5. 主な引用文献

- (1) T. Miyazawa, et al: 'Preliminary Investigations of On-Line AE Monitoring System for Nuclear Power Plants' The third AE Symposium, Sep. 16-18 (1976)

6. 評価および問題点

高温用音響検出器の特性は、FBRへのAE適用の基礎資料として、また、バックグラウンドノイズは、BWRのAE適用の基礎資料として役立つと思われる。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|---|-----|------------------------------|------|----|----|---|----|----|
| 原 | 出典 | AT ENERGY CAN LTD AECL REP N 5831 MAY 1977 31P | 番号 | 75 | 頁数 | 28 | 写真 | 0 | 図表 | 21 |
| 文 | 題 | Acoustic Emission during the | 著者 | B. Cox and C.E. Coleman | | | | | | |
| | 目 | Tensile Testing of Zirconium Alloys | 所属 | AECL, Chalk River Nucl. Lab. | | | | | | |
| 和 | 題 | ジルコニウム合金の引張試験に伴う | 抄訳者 | 常盤 井 寿 泰 | | | | | | |
| | 目 | AE | 所属 | 電中央研究所 | 発行月日 | | | | | |

1. 概 要
 ジルコニウム合金の引張変形に伴うAE特性(カウント数, 発生率)を調べたものである。荷重-伸び曲線における弾性比例限付近からAEの発生が観察され、それは加工硬化が最大となるまでAE発生も最大となる。最高荷重点に達するとAE発生は止まり、以後破壊までのままの状態が続く。AE発生率に及ぼす結晶粒径の効果は顕著であり、このことは双晶形成頻度と対応しているものとして説明している。また応力緩和試験の結果では緩和中にも転位の発生が引続き、このことが判った。結果と総合すると、AE源が多くの信号も大きいため割れ伝播のAEのみを識別することは困難である。

2. 目 的
 ジルコニウム合金の応力腐食割れ(SCC)の伝播を調べる手段としてAE法の応用が有効か否かを検討することを目的としている。特に、双晶形成、転位の発生、酸化処理(表面酸化皮膜の割れ)などの過程で生じるAEのレベルを測定し、SCCによるAEのみを単独に調べ得るかを検討することに力点があかっている。

3. 内 容
 用いた供試材は①冷間圧延後応力除残銹したジルコニウム ②冷間圧延後応力除去焼鈍したジルコイ-2 ③完全焼鈍ジルコイ-2 ④ジルコイ冷間加工材 ⑤ Zr-1.25%Cr-0.1%Fe ⑥冷間加工Zr-2.5%Nb 圧力管材(圧延方向と垂直)の5種類である。

(1)引張試験に伴うAE信号についてリコングラフで調べた結果(AE1事象当りのリコングラフ計数)をまとめたものが下表である。

| Process | Longest Pulse Seen | Range for Majority of Pulses | Mean Pulse |
|---|--------------------|------------------------------|------------|
| Twining (in Zr) | 3600 | 10-1500 | ~ 300 |
| Twining (in Zr-2) | 1700 | 10-600 | ~ 200 |
| Twining (in Zr-Cr-Fe) | 1600 | 40-650 | ~ 400 |
| Dislocation Generation (in Zr and Zr-2) | ~250 | 2-120 | ~ 30 |
| Dislocation Generation (in Zr-2.5 Nb) | 900 | 20-240 | ~ 140 |
| Oxide Film Cracking (at R.T.) | 700 | 500-700 | — |
| Oxide Film Cracking (at 570 K) | ~3000 | 50-1500 | — |
| Transgranular S.C.C. (2) | ~700 | — | — |
| Delayed Hydrogen Cracking (3) (in cold-worked Zr-2.5 wt% Nb) | 1300 | 9-300 | ~ 130 |

(2) 結晶粒径の影響 : 結晶粒を大きくするよう熱処理したものはジルコニウム、ジルコイ-2ともにAEは増大し、その程度はジルコニウムの方が顕著であった。

(3) ひずみ速度の影響 ; ひずみ速度が大きくなる程AEは増加した。

(4) AE発生状況と荷重-伸び曲線との対応関係を示したものが図1である。図より、弾性比例限付近になるとAEが発生しはじめ、加工硬化領域で発生率は最大となり、最大荷重点ではゼロとなり、破壊までAE発生がみられなかったことが判った(ジルコイ-2の例を図で示した)。

⑤ 疲労き裂のある試験片と平滑材とを比較した結果、平滑材の方がAEは少なかった。これはき裂先端では双晶形成頻度が大きいためと考えられる。

⑥ 応力緩和試験の結果、70スラットを止めてもしばらくの間AEの発生が認められた。これは応力緩和中でも転位源が働いていることを示唆しているものと考えられる。

⑦ 予め試験前に酸化処理したものと非酸化材とのAE特性の比較によると、両者の間で差は小さかった。

一方、570Kで応力をかけた状態で酸化処理した材料のAEを測定した結果

は材料によって差はあってもかなりAEが観測された。この相反する結果は試験温度の効果として説明がつくように思われる。つまり、酸化被膜が引張試験中に割れるとしても、それは引張開始のごく初期であらうと考えられるため酸化物の割れ以外のAEと区別し難いのであろう(精細に予酸化処理材のAE発生率曲線を見ると酸化物の割れに対応するとみられる500~700カウントのAE事象がいくつか見られる)。また室温で引張試験した場合一旦破壊した被膜は補修されないことも上記のような結果の原因と考えられる。

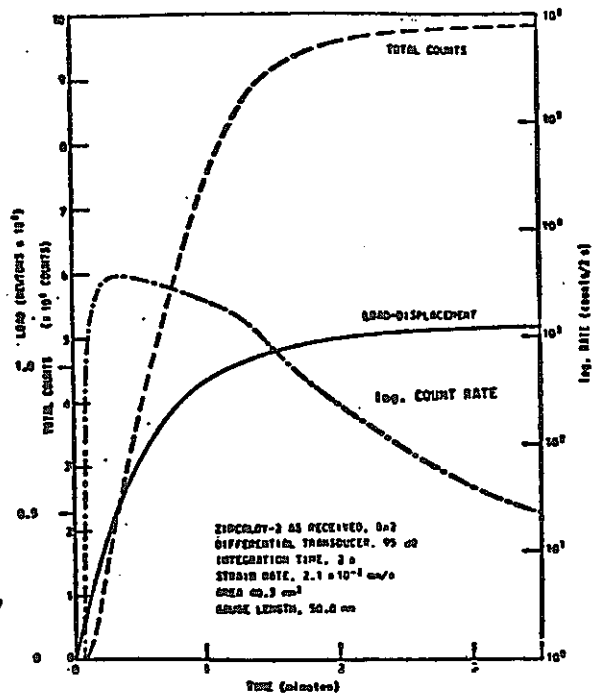


図1. AE FROM AS-RECEIVED ZIRCALOY-2 SHEET

4. 結論 引張試験に伴うAEをジルコニウム合金について言及した結果、AEは弾性比例限界から発生しはじめ、加工硬化領域で発生率が最大となった後、最大荷重点に達するとAE発生はとまり、破壊に至るまでAE発生はみられない(但しその過程で双晶発生がある時はそれに対抗したAEが発生する)。応力緩和試験結果によると、応力緩和中でもAEの発生は続いていた。酸化被膜の割れによるAEは被膜が補修され得る場合は大きい、被膜補修のない室温ではあき顕著でなく、AE累積数でみるとその効果は小さい。

5. 主な引用文献

B. Cox, Corrosion, 30 (1974), 191

6. 評価および問題点

ジルコニウム合金について引張変形に伴うAEを測定した結果、特徴的なAE特性が得られた。しかし本報の最大の目的であるSCCき裂進展検出に対するAE法の有効性の検証の点からは、AE法の適用は困難であるという否定的結論が得られている。しかし、材料研究へのAE法の応用という面では有意義な研究結果と云える。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|----------------------------|------|----|----|---|----|---|
| 原 | 出典 | ASME PAP N77-PVP-44 | 番号 | 78 | 頁数 | 13 | 写真 | 0 | 図表 | 9 |
| 文 | 題 | A Means of Assessing the Effect of Periodic Proof Testing and NDE on the Reliability of Cyclically | 著者 | D.O. Harris | | | | | | |
| | | | 所属 | Science Applications, Inc. | | | | | | |
| 和 | 題 | Loaded Structures 繰り返し荷重を受ける構造物の信頼性におよぼす定期試験および非破壊 | 抄訳者 | 吉田 憲一 | | | | | | |
| | | | 所属 | 中国工業技術試験所 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要 検査の影響の評価法

(金属加工研究室)

疲労荷重を受ける構造物の破壊確率を予測するために、初期欠陥の大きさと非破壊検査による検出確率が疲労クラック進展と破断の破壊力学的計算手法と組み合わされ、統計的手法によって、定期試験と定期非破壊検査による影響が計算された。K_{IC} より小さい K_{AE} により定期試験 (Proof test) の効果は著しく、検出可能なクラック深さを小さくすることにより、非破壊検査の効果は大であった。

2. 目的

最近、構造物の信頼性に対する意識が高まり、非破壊検査の占める位置が向上しつつあるが、定量的な情報に対する報告は乏しく、難しい問題とされてきた。本報告においては、非破壊検査データを統計的に処理し、構造物の稼働中の破壊確率を求める例題を挙げ、pre-service および in-service inspection の位置付けを行った。

3. 内容

繰り返し荷重 (片振, R=0) を受ける構造部材中のき裂形状は半楕円で表面に半円現われたものとし、き裂長さ a と深さ b とは、 $b/a > 10$ とし、次の比が入力パラメータとして与えられているものとする。欠陥の数、大きさ、方向、位置、NDE による欠陥検出の確率 (a の大きさの関数)、稼働中の応力履歴、材料の疲労き裂成長式 ($da/dN = C R^m$)、材料の臨界クラック長さ ($K_{IC} \rightarrow a_c$)。そして、稼働中の NDE 後は、直ちに欠陥は修理されるものとする。

Fig 1 は、累積破壊確率 P_f におよぼす疲労繰り返し数の影響を示したもので、 β ($\sigma_{proof}/\sigma_{nom}$) = 1 は Proof Test を行わない場合で、 $\beta = 1.1$ 、1.5 と応力レベルを変えた proof test をあらかじめ行うことにより、疲労繰り返し数が低い場合に P_f が 0 とする。破線は、NDE の検出感度 ($a^* = 1/16$ in) により、 P_f を下げる事ができる。また、点線は $K_{AE} < K_{IC}$ (臨界点に達する前は AE が検出される) という条件下で、 $\beta = 1.1$ 、1.5 の proof test を行うことにより P_f を大幅に低下させる事ができる。繰り返し数が 10^4 を超えると、種々の条件により、 P_f はほとんど変わらない。

Fig 2 は、累積破壊確率におよぼす疲労き裂成長パラメータ C の影響を示す。図中の破線は、NDE を行わない場合、破線は $a^* = 1/16$ in

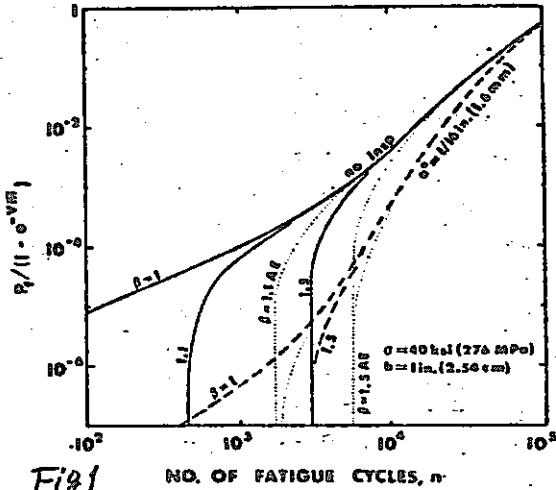


Fig 1

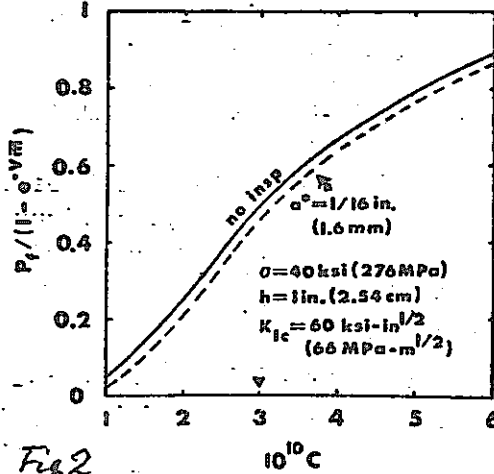


Fig 2

の検出感度にした場合の関係である。この時、繰り返し数は 10^5 とした。Cの値に著しく影響を受ける。同様の関係を材料の K_{Ic} について計算すると、 P_f は一定値とし、これより、 $da/dn = C(\bar{K})^2$ のCが大きい材料の好ましい。

Fig 3 および Fig 4 は、累積破壊確率におよぼす疲労繰り返し数の影響を示す。Fig 3 は、 $a^* = 1/8$ in の場合、Fig 4 は $a^* = 1/16$ in の場合を示す。NDEの検出感度により、 P_f を下げることが可能である。图中的数字は、 n_I (inspectionの頻度、5kは、 n の5kと12 NDEを行う) は小さいほど P_f は小さくなり、著しく影響を受ける。破線は、proof test ($\beta = 1.5$) による影響を示すが、 10^5 を超えているために、ほとんど効果を示さない。Fig 1 と同様は、低疲労繰り返し数において効果がある。

Proof test 中に破壊確率は当然上昇するため、proof test 中に破壊に至らないように注意すべきである。しかし、 $n_I = 5000$ 、 $a^* = 1/16$ in においては、proof test 中に P_f の増加は認められない。また、proof test 中の AE法については、交差があると考えられる。(Fig 1)

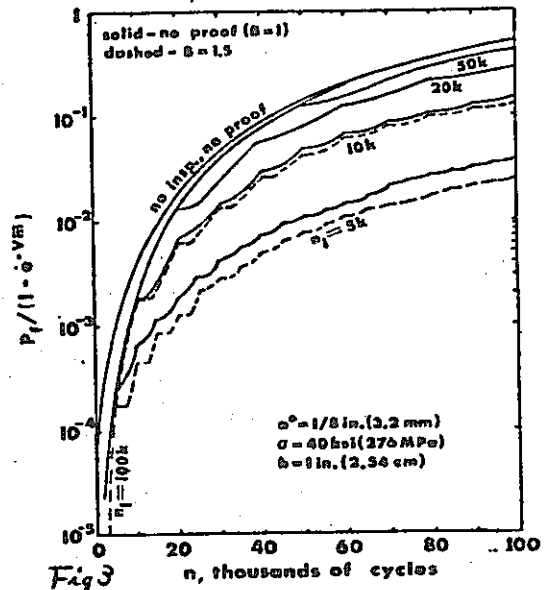


Fig 3

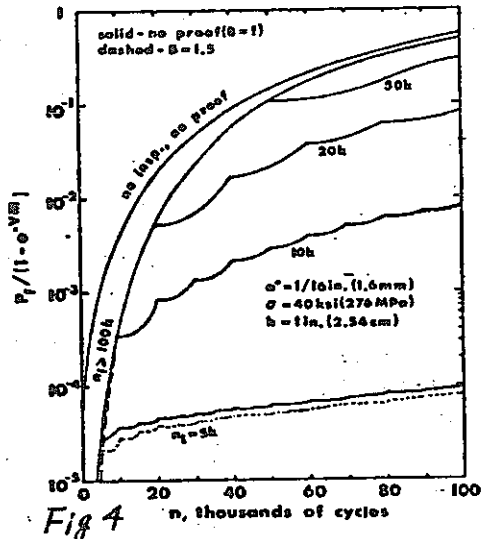


Fig 4

4. 結論
- Proof test は、繰り返し数の小さい場合に効果的である。
 - a^* および proof test 中の AE も同様の効果があるが、 n が大きくなると急速に減少する。
 - K_{Ic} は P_f にほかに影響を及ぼさないが C 値は著しく影響を受ける。繰り返し応力レベルも P_f に著しく影響する。
 - NDE の間隔は著しく P_f に影響する。

5. 主な引用文献

Harris D.O : Mat. Eval. July (1977), 57
 Tang, W.H. : J. Testing and Evaluation, vol 1, No 6 (1973), 459
 Packeman, P.F, Pearson H.S., Owens, J.S, and Young, G.
 : J. Mat. vol 4, No 1, (1969), 666

6. 評価および問題点

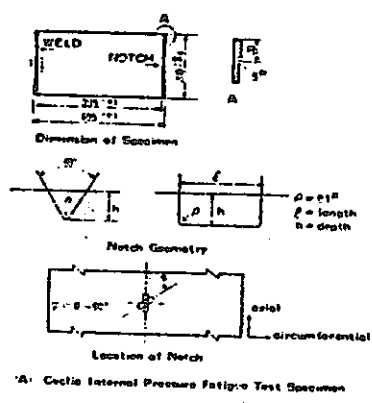
NDEの定量的な評価を行うことは意義あると思われる。しかし、実用には供するには、数式が複雑すぎる。
 n が小さい範囲では $da/dn = C \bar{K}^2$ が明確に成立しない場合が多い。応力拡大係数 K の値はき裂の形状、分布により更に複雑になる。予想され、塑性変形の要素も加わってくる。AEの位置標定結果を取り入れるという点も、課題がある。

| | | | | | | | | | |
|------|--|----|------------------|------|---|----|---|----|----|
| 原典 | ASME (Vol.100 No.4) | 番号 | 81 | 頁数 | 9 | 写真 | 8 | 図表 | 13 |
| 題目 | Influence of Inner Surface Defects on the Fatigue Strength of Pipe Subjected to Cyclic Internal Pressure | 著者 | 矢崎, 走崎, 西田, 浦島 | | | | | | |
| 和文題目 | 繰返し内圧を受ける Pipe の疲労強度に及ぼす内表面欠陥の影響 | 所属 | 新日本製鉄(株)設備技術センター | | | | | | |
| 抄訳者 | 走崎 信也 | 所属 | 新日本製鉄 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要 変動する内圧によって生ずる疲労破壊はパイプライン事故の一原因である。パイプ内表面の欠陥の内圧疲労試験を切欠きの深さ及び管軸に対する傾き角度を変えて行なった。又内圧疲労の過程でAEを測定しカウントレート、波形、周波数特性をしらべた。

2. 目的 繰返し内圧の条件下でパイプの疲労特性に及ぼす表面欠陥の影響及びそのAE特性を明らかにする。

3. 内容
 試験片 電綫管(規格API 5LX-X60)
 長さ 200mm 外径 407mm 板厚 7.4mm
 内表面切欠き 60°V型 深さ 0.3と1.0mm
 軸方向との角度 0°~90°
 疲労試験 内圧疲労(油圧)
 速度 0.3~0.5Hz 正弦波
 最大圧力 100Mpa 最小 1Mpa
 (その他) 片張引張疲労も行なった(省略)



AEの測定
 疲労クラックの発生を検出するため AE を応用した
 Fig.4 にブロックダイアグラムを示す

- 測定項目
- (a) Count rate
 - (b) total count
 - (c) 波形
 - (d) 信号の周波数解析
- バックグラウンドノイズを除去するため空間フィルター(マスク=スレーブ法)とコインシデンス法を用いた。

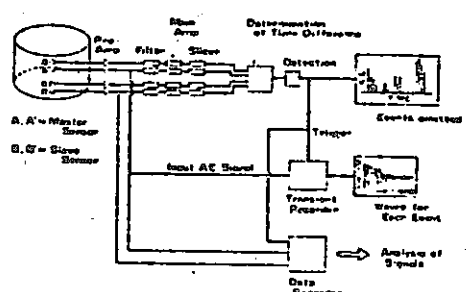


Fig. 4 Block Diagram of Experimental Setup for Data Acquisition of AE

- 試験結果
- (1) 切欠き深さが 0.3mm から 1.0mm に増加すると疲労強度は 14% 低下する (Fig.6)
 - (2) 切欠き傾き角度は疲労強度にいちぢるしく影響する。すなわち軸方向切欠きは疲労強度を最も低下させ、「周方向切欠き」の影響は少い。

さらに切欠き角度の影響を理論的に検討し切欠き角度 ψ (管軸を基準にとる)が $\psi=0$, $\psi=45^\circ$ の場合理論と良く合うことを確認した。(Fig.6)

(3) 切欠き傾き角度に関係なく、き裂は軸方向に発生進展した。

(4) 各切欠き試験片に対し、内圧疲労と片張り引張疲労との間に良好な相関が認められた。(Fig.7)

(5) 繰返しの初期と破断直前でAEの多発が認められ、中間ではAEの発生はほとんどなかった。

(Fig.8 (a) 低圧力(4MPa)範囲
(b) 高圧力(7MPa)範囲)

信号スペクトルに関しては、中間ステージでは周波数のピークは約300kHzにあり、一方最終ステージでは70kHzより低い周波数のピークが認められた。(波形写真省略)

補足 (検出感度 0.1mVPP センサ追加)
使用AEセッティング 帯通 PZ8

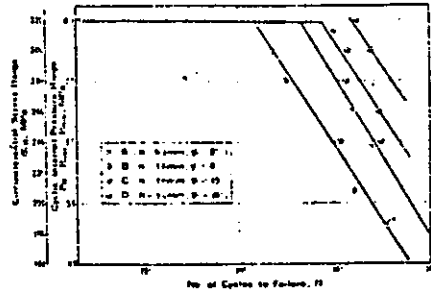


Fig. 6 Influence of Notch on Cyclic Internal Pressure Fatigue Strengths of Pipe

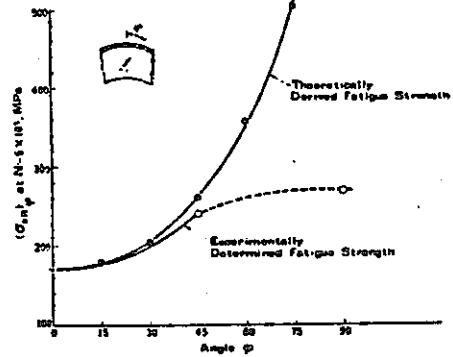
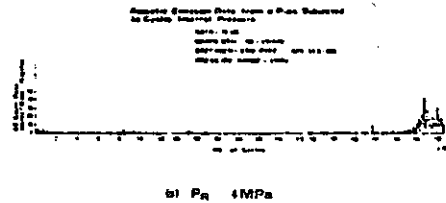
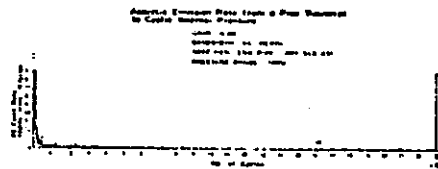


Fig. 7 Comparison of Experimental and Theoretical Cyclic Internal Pressure Fatigue Strengths



(a) Pn 4MPa



(b) Pn 7MPa

Fig. 8 AE Count Rate during Cyclic Internal Pressure Test

4. 結 論

5. 主な引用文献

6. 評価および問題点

| | | | | | | | | | | |
|---|----|-------------------------------------|-----|---------------------------|------|----|----|----|----|---|
| 原 | 出典 | Ultrasonics 15 No.6 (1977) 253-262 | 番号 | 124 | 頁数 | 10 | 写真 | 26 | 図表 | 0 |
| 文 | 題 | Basic aspects of the application of | 著者 | H.A. Crostack | | | | | | |
| | 目 | frequency analysis | 所属 | University of Dortmund, 独 | | | | | | |
| 和 | 題 | 周波数解析の応用に関する | 抄訳者 | 増田 順一 | | | | | | |
| | 目 | 基本的見解 | 所属 | 電々公社 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要

(武蔵野通研)

本論文は AEパルスの周波数解析の応用について簡単に述べたものである。バックグラウンド・ノイズが大きい場合には測定された信号を特徴づけ信号源との関係を把握する必要がある。周波数解析はこれに有効に用いることができる。本報告では周波数解析の有効性と反有効性について述べている。

2. 目的

AE測定パラメータのうち、周波数解析法についての議論を行なう。

3. 内容

理想的なパルスの周波数分布は Fig 5, Fig 6 のごとくなる。しかしながら、実際には多くの要因によって AEの周波数分布は影響を受け、変化する。問題となる現象は反射と減衰である。

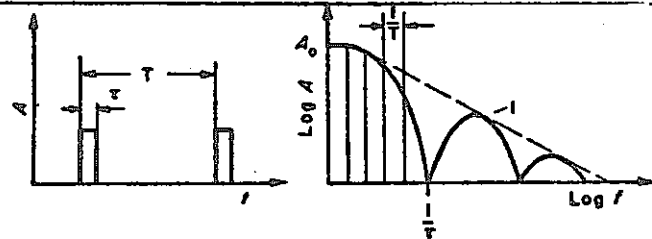


Fig. 5 Spectrum of a rectangular pulse

試料の影響

- ① 周期的パルスによってあやふたな周波数分布となる (Fig 7)
- ② Rayleigh波は、伝播すると板厚、測定周波数で全く異なった波形となる (Fig 8)
- ③ Lamb波の伝播時の [板厚] × [周波数] と [伝播速度] の関係について述べる (Fig 9)
- ④ 弾性波が溶接部を通過するかどうかでも周波数分布は異なる (Fig 10)

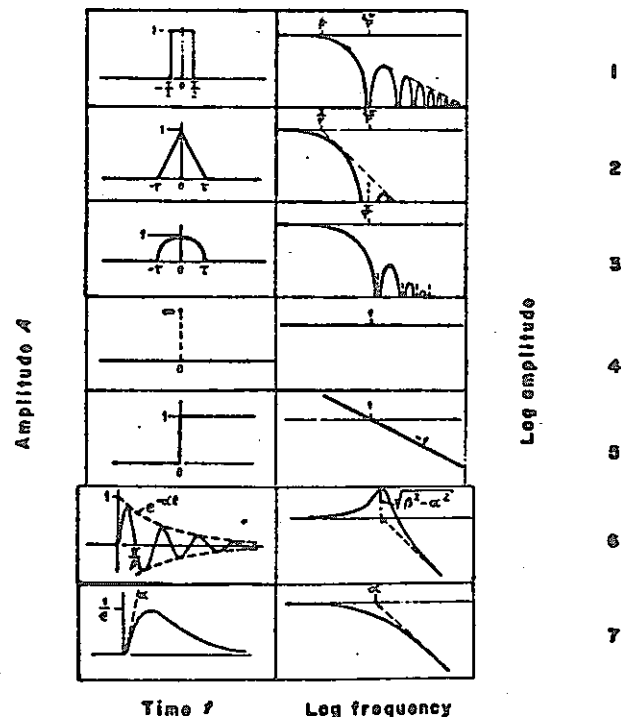


Fig. 6 Spectra of some ideal pulses

幾つかの応用例

- ① マルテンサイト形成のような相変態時の周波数分布と他の周波数分布の比較 (Fig 14, 右図)
- ② スポット溶接、キャビテーション時のノイズの周波数分布 (Fig 15, 16)
- ③ マルテンサイト変態のメカニズムを明らかにできる可能性がある。将来、モデル的取扱いにより、マルテンサイト変態時の周波数分布を求め

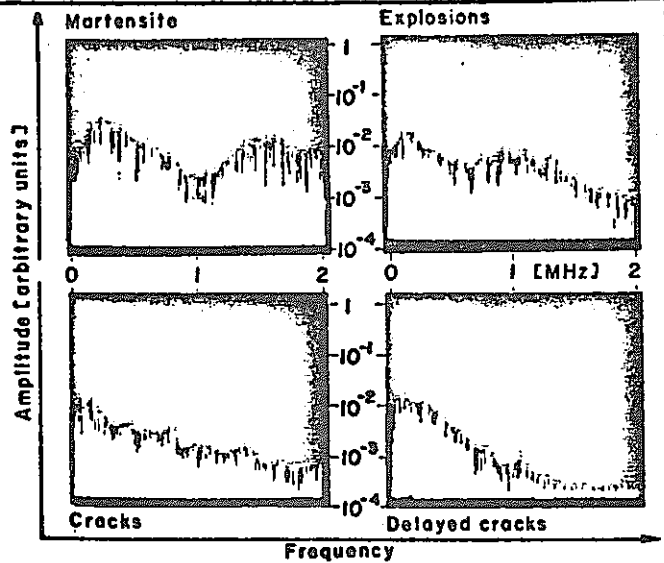


Fig. 14 Spectrum analysis of different AE signals

Fig 14 (右図) の Crack の場合の周波数分布と比較すれば、メカニズムを明らかにできるであろう。

周波数解析の限界

- ① 伝播距離が長くなると信号が減衰し、周波数分布を比較できない。
- ② 周波数解析に有効なのは、1つの信号中の始めの部分である。信号の後半は装置の transfer の影響を受けている。従って、情報量が少ない。
- ③ 広帯域のセンサーが必要であるが、通常広帯域センサーは共振型のセンサーより感度が低い。
- ④ 理論計算により、周波数分布を求めるとき、Fig 14 の Martensite 変態のような非直線的周波数分布および伝播方向に依存するパルスの影響を受ける。また AE パルスの伝播速度が大きいとドップラー効果に似た現象が生じる。

4. 結論

周波数解析を行なうことは、バックグラウンドノイズの大きい時の AE 信号を把握する優れた方法である。

5. 主な引用文献

- (1) J. Nakamura ほか ASTM, STP 505 Acoustic Emission
- (2) Stiffens H.-D ほか Zeitschrift für Werkstofftechnik 6 (1975) 88.

6. 評価および問題点

周波数解析の基本的な考え方について多くの項目を列挙し、概念的に述べている。論文というよりは案内、紹介のための資料に近い。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|-------------------------|------|---------|----|---|----|---|
| 原 | 出典 | energica nucleare, 29 n.8-9 1977 | 番号 | 126 | 頁数 | 6 | 写真 | 1 | 図表 | 8 |
| 文 | 題 | Acoustic emission measurements during the pressurization of a notched steel pressure vessel. | 著者 | G. Grugni, V. Mandorini | | | | | | |
| | | | 所属 | CISE, IRB | | | | | | |
| 和 | 題 | 圧力容器耐圧試験時の AE 計測 | 抄訳者 | 石原 耕司 | | | | | | |
| | | | 所属 | 日本鋼管 | 発表月日 | 54.5.10 | | | | |

1. 概 要

(技術研究所 計測研究室)

板厚貫通切欠を有する厚肉圧力容器の耐圧試験を -40°C で行い、切欠き近傍からの AE と COD の関係を調査した。

2. 目 的

COD と AE の関係の明確化

3. 内 容 材料 $\sigma_B = 51.7$, $\sigma_y = 33.7$ (kg/mm^2)

○ 容器および試験法 試験容器の材料は、胴部 Fe 52D1 ム材、鏡部 ASTM A508 cl.2 鍛造材である。容器のデモンストラティブにこの容器に入れた切欠きの詳細を図 1 に示す。

試験温度は -40°C であり、液体窒素で冷却したエチルアルコールを循環させ、容器を所定の温度にたもった。COD の測定はフリックゲージを用いて行なった。

○ AE 計測 AE 計測は CISE で開発した装置を使用し、4ch で切欠き周囲 4 位置標定を行うとともに AE イベントを計数した。

センサーは 150~250 kHz に共振周波数をあつものを用い、総合利得 55 dB で実験を行った。

○ 実験結果 切欠き部から発生した AE のトータルイベントを圧力に対してプロットした結果では、 ≈ 300 気圧まではほぼ一定であり、以後 368 気圧まで急激に増加していった。

耐圧実験は 374 気圧で 1 ッチ部のシール板がこわれたため終了したが、実験後、切欠き痕を調査した結果き裂が $\approx 2\text{mm}$ 成長しているのが認められた。

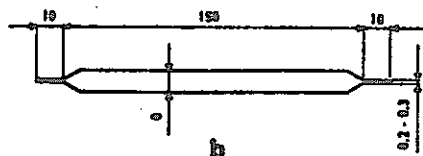
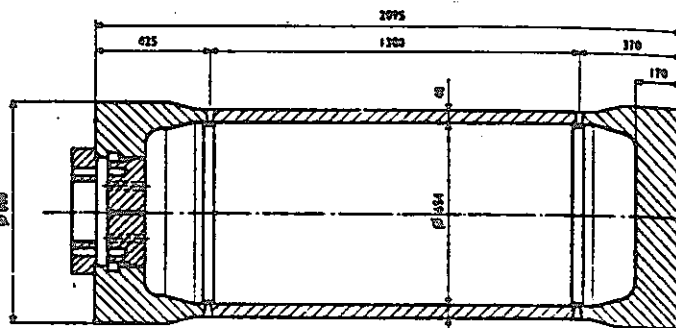


図 1-a 容器断面図, b 切欠き部詳細

○考察 COD値 δ とAET-タリイベント N は $N = A\delta^m$ で整理されるとい
われている^{(例は(1))}。しかし単一の A および m で弾性域から破壊に至るまでのA
E挙動を整理するのは無理のようである。

これに関し、Arco⁽²⁾は $N-\delta$ 関係に二つの領域、即ち切欠を有する塑性域の松
大に対応する領域Iとサブクリティカルなき裂の成長に対応する領域IIがあると
し、また二つの領域の境界はき
裂の成長開始に対応するとした。

今回の実験結果はArcoの見
解をうらづけていようである
。上記の考え方でCOD値 δ と
AET-タリイベントの関係を整
理した結果を図2に示し、定数
 A および m の値を表1に示す。

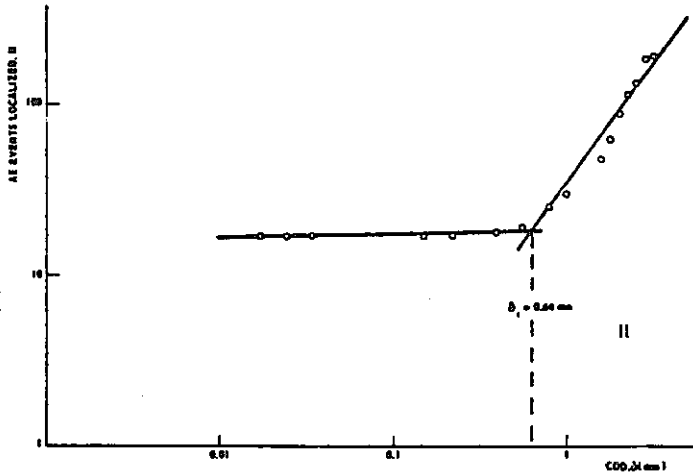


図2 ト-タリイベントとCODの関係

表1 $N = A\delta^m$ なる関係における A と m の値

| | Region I | Region II |
|-----|----------|-----------|
| A | 18.6 | 34.9 |
| m | 0.027 | 1.417 |

4. 結 論

き裂のサブクリティカルな成長の検出に対するAE監視の正当性が証明され、
またAEとCOD間の関係が得られる見通しがたつた。

5. 主な引用文献

- (1) H-L. Dumegan et. al. : Fracture Analysis by Use of AE. Eng. Fract. Mech., 1968, Vol. 7, P.105.
- (2) M. Arco et. al. : Slow-crack Growth and AE Characteristics in COD Test. Eng. Fract. Mech., 1975, Vol. 7, P.551.

6. 評価および問題点

このような実物大実験により新発見が得られた事は評価できるが、逆にこのよ
うな大型実験の機会はいない。大型実験に変わる小型試験法の確立が望まれる。

| | | | | | | | | | | |
|---|----|---------------------------------------|-----|--------------------------|------|---|----|---|----|----|
| 原 | 出典 | Metal Science II No.11 (1977) 531-536 | 番号 | 130 | 頁数 | 6 | 写真 | 2 | 図表 | 10 |
| 文 | 題 | Acoustic Emission and Ductile Crack | 著者 | G. Clark and J. F. Kufft | | | | | | |
| | 目 | Growth in Pressure-Vessel Steels | 所属 | Uni. Cambridge | | | | | | |
| 和 | 題 | 圧力容器材料の延性き裂成長とAE | 抄訳者 | 長谷川 邦夫, 榎本 邦夫 | | | | | | |
| | 目 | | 所属 | 日立 技研 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要

(第3部 34研究室)

圧力容器材料 QT35, HY130, A533B の延性き裂成長とAE特性の関係について三臭曲が試験を実施して検討した。

三鋼種のうち HY130において延性き裂発生成長とAEの相関が明瞭で、破断直前で高振幅のAEが発生することが示されている。

2. 目的

AEは原子炉圧力容器の欠陥挙動を、原子炉の運転中に遠隔かつ連続的に監視できる有力な手段になり得る。本報はAE信号に關し、材料の破壊プロセスとの相関を明らかにして圧力容器の延性き裂の監視にAEを用いようとするものである。

3. 内容

(1) 実験方法

供試材は QT35, HY130, A533B 鋼である。試験片は切欠き先端に疲労き裂を有する 45°V 切欠き試験片であり、三臭曲が荷重試験を行ない、荷重、き裂開口変位、AE 計測を実施した。

AE計測ブロック図を Fig.1 に示す。

AE計測装置は Dunegan/Endevco 製で変換子は D9201 である。

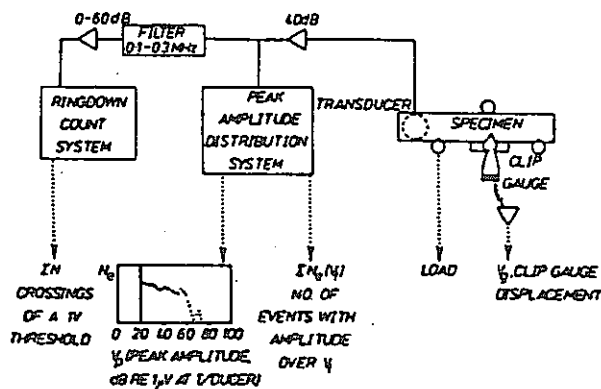


Fig.1 Block diagram of testing and acoustic emission system.

(2) 結果及び検討

QT35 ; AEの発生率は高く、ピーク振幅値が V_p のイベント N_E は $N_E \propto V_p^{-b}$ という分布が得られたが破壊の進行過程との相関

は明らかでなかった。破壊はラメラティアの進展により生じた。

HY130 ; Fig 2は荷重とき裂開口変位及びイベントカウント累積数の関係を示す。 d_c は延性き裂が発生するき裂開口変位を示す。これよりイベントカウント曲線は、荷重負荷直後に急激に立ち上る領域、AE発生が少なく比較的平坦な領域、大振幅のAEが急激に発生する領域の三領域から成る特徴的傾向を示している。延性き裂はこのオ2領域からオ3領域への移行部付近で発生し、延性き裂の成長につれて大振幅のAEが発生する。

高振幅のAEをリングダウン計数で示すとFig.3のようになり延性き裂の発生が更に明らかになる。HY130は延性き裂の成長挙動とAEで検出できるという。

A533B; 延性き裂が発生すると高振幅のAEが発生するが、HY130ほど両者の相関は明瞭でない。

鋼板からの採取方向によってAEの活性度が異なり、左延面にき裂が進む場合最もAEを多く発生する。この原因は介在物界面、及び介在物自身の割れと変形によるものと思われる。

検討; HY130は降伏応力が高く、加工硬化係数が小さいのでき裂先端とボイドの間のリガメントの塑性歪は狭い領域に集中している。このリガメントが破断すると高振幅のAEが発生し、従って、AEと延性き裂の挙動がよく対応したものと思われる。破断面のSEM観察からもHY130とA533Bの相異を検討した。

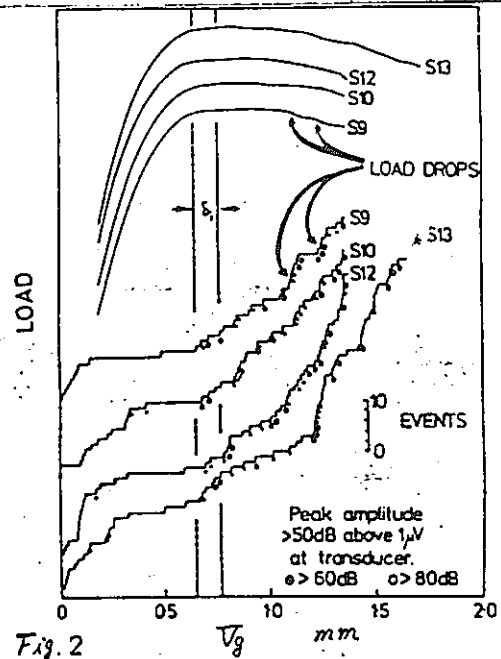


Fig. 2

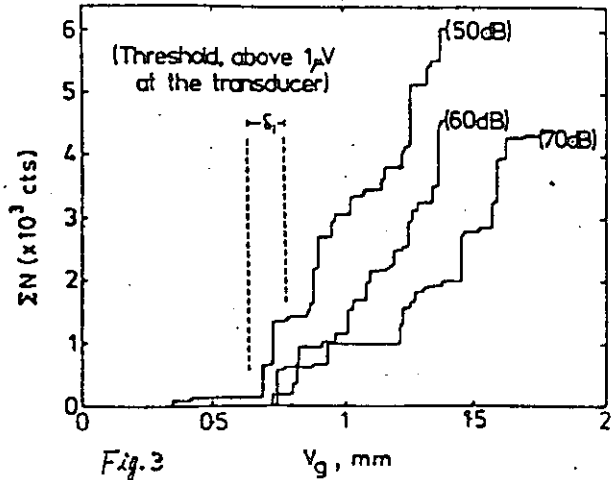


Fig. 3

4. 結論

3種類の圧力容器用材料の延性き裂成長過程とAE挙動の関係を調べることが可能となった。さらに、HY130と、若干信頼性は低いながらA533Bにおいては延性き裂の発生をAEで検出できることが示された。

5. 主な引用文献

G. Clark and J F Knott : J. Mechanics and Physics Solids, 1975, 11, 179
 A. A. Pollock : Non Destructive Testing, 1972, 6, 264

6. 評価および問題点

材料の異方性がAE特性に影響することが示されたことは注目される。実機へのAE適用に際し留意すべきであろう。

| | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|---|------|----|----|--|----|
| 原 | 出典 | Materials Science and Engineering | 番号 | 142 | 頁数 | 15 | 写真 | | 図表 |
| 文 | 題 | Acoustic Emission Monitoring of Fatigue Crack Growth | 著者 | T.C. Lindley, I.G. Palmer & C.E. Richardson | | | | | |
| | 目 | | 所属 | Materials Division, CERL | | | | | |
| 和 | 題 | 疲労き裂進展に伴うAE | 抄訳者 | 大平 善三郎 | | | | | |
| | 目 | | 所属 | 東大宇宙研 | 発表月日 | | | | |

1. 概要

疲労き裂進展に伴うAEを最大荷重発生直前(peak load AE)と最大荷重発生直後(closure AE)とに分けて計測した。前者はき裂の成長及び塑性域の進展に伴う(き裂進展に伴うエネルギー解放量と)関係により対応が得られた。後者はき裂の閉鎖に伴う(き裂閉鎖時発生エネルギー)の研究に有用である。単一最大荷重のき裂進展とAEとの影響について検討した結果 AEはき裂の閉鎖によく対応した。

2. 目的

強度及び塑性域の異なる数種の鋼について、材料及び試験条件のpeak load AEへの影響を明らかにし、単一最大荷重のpeak load AE及びclosure AEへの影響を調べる。実用構造材料のき裂進展のAEによる検出及び解析への指針を得ること。

3. 内容 Compact Tension Test, 片板型

(1) peak load AEと破壊力学パラメータとの関係

peak load AEの発生源として、1) き裂の成長に伴うエネルギー解放と新しい塑性域内の塑性変形との2つを考えた。peak load AEの計数率 $\frac{dN}{da}$ はエネルギー解放量及び塑性変形量に比例すると仮定すると、

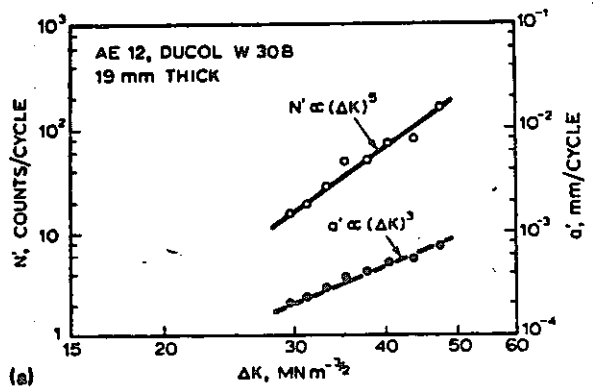


Fig. 1 N: Ringdown Count

$$\frac{dN}{da} = C_1 \frac{K_{max}^2}{E} \frac{da}{da} + C_2 \left(\frac{K_{max}}{\sigma_y} \right)^2 \frac{da}{da}$$

= $\frac{C_1}{E} (\Delta K)^2 \frac{da}{da} + \frac{C_2}{\sigma_y^2} (\Delta K)^2 \frac{da}{da}$ と表わされる。実際、 $\frac{da}{da}$ と ΔK の関係

は Paris の式 $\frac{da}{da} = C (\Delta K)^m$ が成立する場合 $\frac{dN}{da}$ と ΔK の関係は

Fig. 1 に示すように $\frac{dN}{da} = C' (\Delta K)^{m+2}$ の関係が得られた。

(2) peak load AEと微細組織破壊機構の関係

1つの材料では (1) に述べた関係が殆どの場合成立した。異なる鋼種を比較すると定数Cの値が異なる結果が得られた。これは単一のき裂進展に伴うエネルギー解放量と(破壊力学の考察で)証明された現象である。又、疲労の初期には peak load

AEは非常に少なく100~1000サイクルに1カウント程度で、毎サイクル生じている進展とAEとが対応しない。これを考慮すると、ストラスエーコンで進展が進展する低 ΔK 領域では1サイクル毎の進展が少なく、進展が端の塑性域内での第2相粒子の割れなどが主要な peak load AE 源であると考へる方が適当である。 K_{max} が K_{IC} と K_{CI} に近づき、破壊機構が、テンソルやへき開割れに遷移するに従い、peak load AEは急増すると考へられる。これは材料の微視組織に強く依存する。従って、疲労進展に伴う AEを同じ材料の引張試験や破壊靭性試験の AEの結果と対応させることが必要である。

(3) 単一過大荷重の AEへの影響

単一過大荷重を負荷した後、進展が長期にわたって停滞するに起因して、peak load AE, closure AEとも低下し、進展の停滞と対応がみられた。これは各々、進展速度が急減した為、peak load AEが減少し、又、進展の停滞が原因で closure AEが減少したと考へられる。進展が再び進展し始めると両者ともに単一過大荷重負荷前の値に復帰した。

(4) 高強度材料では塑性域内の割れのため、進展に伴う主要な AE 源と見られる。

(5) peak load AE, closure AE共に単一過大荷重後の進展の停滞に強く対応し、進展速度の微視組織に依存している。

4. 結論

- (1) 疲労進展に伴う AEを、進展の成長に直接対応する peak load AEと、進展の閉鎖に伴う closure AEとに分けて別々に計測、解析した。
- (2) peak load AE 計測率と進展に伴う工知計測の同一に、対応が得られた。
- (3) 低強度材料では peak load AEの主要な発生源は、塑性域内の引張応力の割れによるものと考へられ、材料の微視組織に強く依存する。

5. 主な引用文献

- (1) T. M. Morton, R. M. Harrington and J. G. Bjeletich; Eng. Fract. Mech., 3, (1973) 691
- (2) T. M. Morton, S. Smith and R. M. Harrington; Exp. Mech., 14 (1974) 208
- (3) D. D. Harris and H. L. Dunagan; Exp. Mech., 14 (1974) 71

6. 評価および問題点

疲労試験中に発生する AEを peak load AEと closure AEとに分けて、別々に解析を行うことは評価すべきで、しかし AE計測のメーカとソフトウエアの計測率を用いては、好ましくない。疲労の場合、工知計測と AE計測の両方を用いるべきである。又、位置標定は、必ずしも必要ではない。又、peak load AEの微視組織発生メカニズムは、復位領域と出ている。

| | | | | | | | | | |
|---|----|---|-----|--------------------------|------|---|----|---|----|
| 原 | 出典 | Material Evaluation, Jan. 1978 | 番号 | 150 | 頁数 | 4 | 写真 | 2 | 図表 |
| 文 | 題目 | Acoustic Emission from Welded Beryllium | 著者 | C.R. Heiple & R.O. Adams | | | | | |
| | | | 所属 | Rockwell International | | | | | |
| 和 | 題目 | 溶接されたベリリウムからのAE | 抄訳者 | 中村哲男 | | | | | |
| | | | 所属 | 三菱重工 | 発表月日 | | | | |

1. 概要

ろう付溶接ベリリウムの溶接強さや欠陥は欠陥の位置とAEの相関を把握するため、AEモニタリングを行った。突然AEが起り、バーストとバースト当りの平均エネルギーで特徴づけられた。溶接金属とベリリウム面でのバーストは拡散不足にもとづく欠陥か、他の欠陥とは引張り荷重時にみられる突然AE当りのエネルギーの大きさで識別出来る。

2. 目的

負荷時の溶接欠陥をAEで識別する。

3. 内容

(1) 供試体は厚さ0.64mm, ゲージ長1.3cm, 中心に溶接ビードを持つ。供試体はピンホールからのノイズを検出する前に約2倍の引張り相当荷重をピン部にかけておく。

(2) AE計測装置

トランスデューサ D/E S140 (140KHz)
 プリアンプ D/E 802P } システムゲイン = 85dB
 トリガー D/E 301 } 周波数 100 ~ 300KHz.

AEのイベント・トータル ; ティミタルインパルスプロセッサ
 エネルギー ; エネルギーモジュール, レートは30秒毎に取得

(3) 割れのタイプ

図示の如き5つのタイプの割れのパスが観測された。

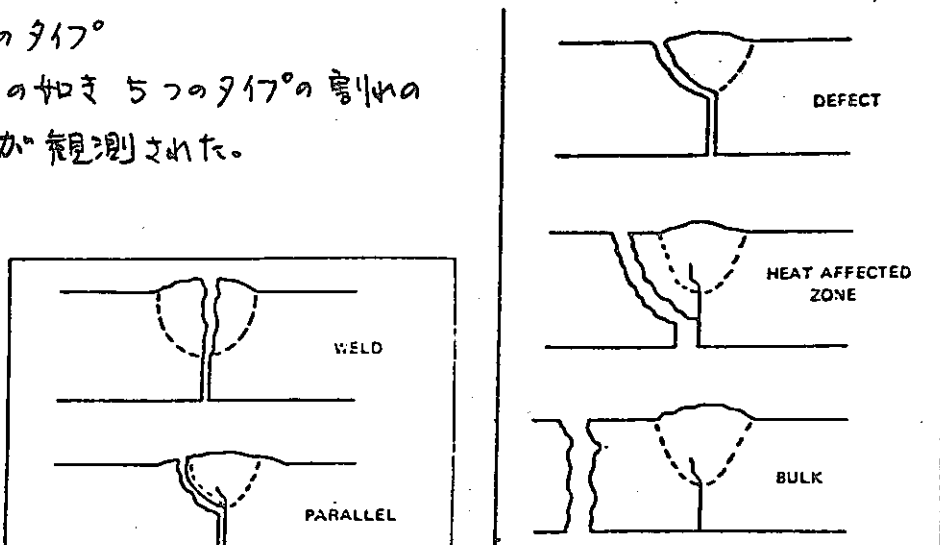


Figure 3 - Fracture paths.

(4) AEの計測結果

DEFECTタイプ以外は全て Fig. 6と同様である。
 DEFECTタイプは Fig. 7である。
 バースト当りのエネルギーは一般には歪に無関係である。
 バーストレートは非弾性変形の開始と共に急速に増加する。
 バーストレートが急激に立ち上がり600バースト/分の歪を塑性変形率とする。
 バーストレートの立ち上がり時に発生するものはDEFECTタイプである。

- (a) DEFECTタイプの識別がバースト当りのエネルギーで出来る
- (b) DEFECTタイプ以外のAE活動のメカニズムは溶接金属の割れの伝播である。
- (c) バリウム中の割れの進展は1分にかかると前からない。
- (d) ヒール部での歪はヒール部からのAEを除去する。
- (e) バリウムの歪はAEの主要因ではない。

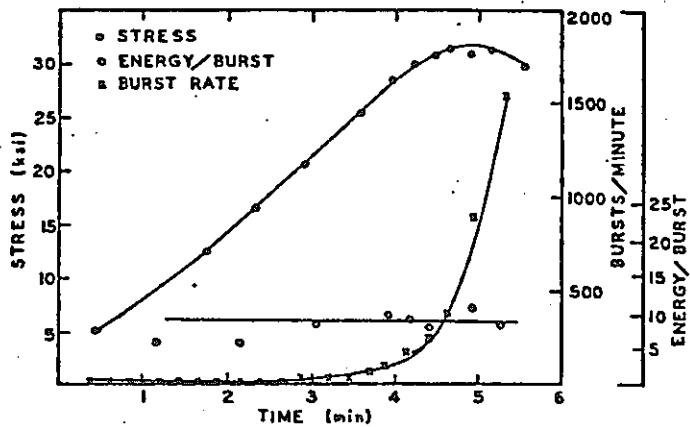


Figure 6—Plot of typical acoustic emission from a tensile bar having a bulk-type failure. Results from weld, parallel, and heat affected zone failures were similar. The energy units are arbitrary.

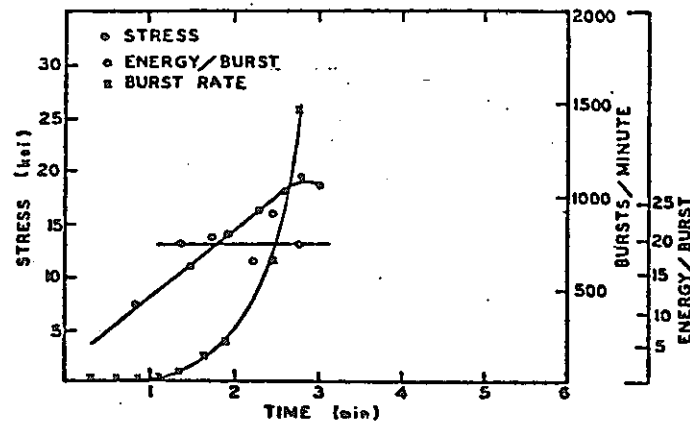


Figure 7—Plot of typical acoustic emission from a tensile bar having a defect-type failure. The energy units are arbitrary.

4. 結論

DEFECTタイプ以外のAEは同様である。DEFECTタイプではバースト当りの平均エネルギーが大きく、バーストレートの立ち上がりは非弾性変形の開始と共に急速に増加する。AEはDEFECTタイプの溶接金属とバリウムのヒール部での割れの進展により、他の欠陥では溶接金属中の割れの進展によるものである。

5. 主な引用文献

- (1) Duneagan, H.L.; Harris D.O and Tatro, C.A. "Fracture Analysis by Use of Acoustic Emission"

6. 評価および問題点

バリウム溶接における欠陥検出への応用が期待される。

| | | | | | | | | | |
|---|----|---|-----|--|------|---|----|--|----|
| 原 | 出典 | (PPCNB4) Probl. Prochn. N10 Oct. (1976) 8-11 | 番号 | 15/ | 頁数 | 4 | 写真 | | 図表 |
| 文 | 題 | Корреляция между акустической эмиссией, кинематическим методом и разрывными характеристиками при статическом нагружении в широком диапазоне темпепратур и скоростей деформирования. Соотношение | 著者 | A. L. Krasobek | | | | | |
| | 目 | | 所属 | INST OF STRENGTH MATER. ACAD OF SCI OF THE UKR SSR, KIEV | | | | | |
| 和 | 題 | 種々の温度、変速度における静的荷重下の Fe の AE と塑性変形、破断の関係、 第2報 | 抄訳者 | 岸 輝雄 (代表) | | | | | |
| | 目 | | 所属 | 東大宇宙研 | 発表月日 | | | | |

1. 概 要

77-290K の温度域、広い変速度範囲の、疲労き裂を導入した Fe 試片の破断にいたる過程での AE パラメータと塑性域の大きさの関係を調べた。AE の activity はクラック先端の塑性域の大きさと良く対応しており、AE 源が塑性変形であることを示している。

2. 目 的

板状試片の破断にいたる過程での塑性域の大きさと AE パラメータの関係とを明らかにすること。

3. 内 容

供試材は 0.05% C の工業用純鉄である。試片は Fig. 1 に示す如き中央切欠試験片である。

変形速度は 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001 cm/min の 5 種で、対応する K_2 はそれぞれ 165, 16, 2.6, 0.2, 0.045 kg/mm²sec. である。また温度は 77-293 K の範囲である。

Fig. 2 は 293 K と 148 K での AE ($N = \frac{d\Sigma N}{dt}$ と破中 A) の時間変化を比較した結果である。実線は $K_2 = 165$ 、破線は $K_2 = 16$ 、一点鎖線は $K_2 = 2.6$ kg/mm²sec に対応している。

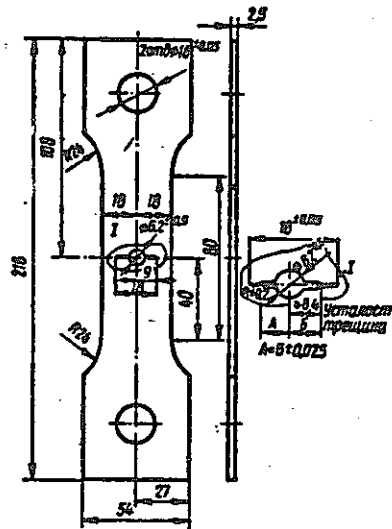


Fig. 1

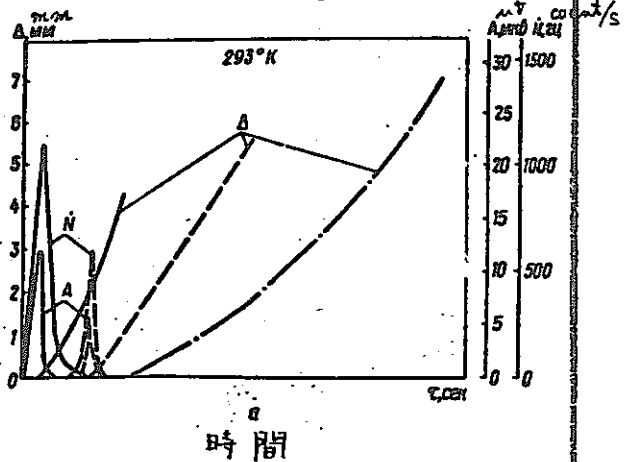
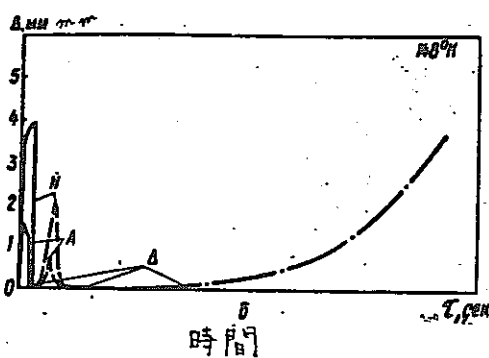


Fig. 2

温度が高い方が AE の activity は高いことがわかる。

Fig. 3 は 温度と負荷速度の N (実線) および A (破線) に及ぼす影響を調べたものである。
 N, A 共に K_2 に対する温度が高い方が大きな値を示している。

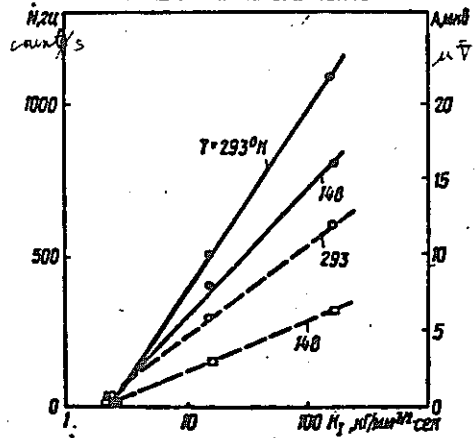


Fig. 3

Fig. 4 は

$$r_{pc}^* = \frac{1}{4R} \left(\frac{K_{IC}^*}{\sigma_{0.2}} \right)^2$$

塑性域半径 r と温度にか
 2700トの結果である。

K_{IC} に対する温度の低下と共に
 r_{pc}^* は減少し、このことは Fig. 3
 に示した AE 活動と対応して
 いる。

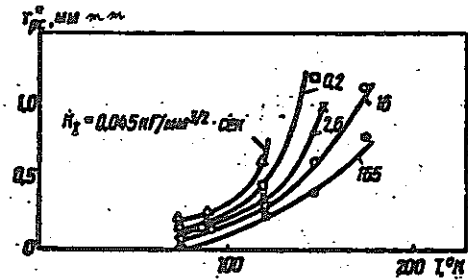


Fig. 4

4. 結 論

AE パウチはクラック先端部の塑性域の大きさと
 良く対応しており、このことは AE 源が塑性変形であることを
 示しているものと考えらる。

5. 主な引用文献

Бакашская Е. Д., Красовский А. В., Надерудини Т. Н.
 Проблемы прочности, 1974, No. 2

6. 評価および問題点

注) No.153 に単純引張試験の報告を行なっている

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|--|------|---|----|--|----|--|
| 原 | 出典 | Probl. Prochn. N10. Oct (1976) p3-7 | 番号 | 153 | 頁数 | 5 | 写真 | | 図表 | |
| 文 | 題 | Корреляция между акустическим эмиссионным параметром и параметром деформации железа при статическом нагружении в изотермической деформации | 著者 | A. L. Kravtchuk, | | | | | | |
| | 目 | скорости деформирования. Соотношение между скоростью деформации и статическим параметром деформации Fe | 所属 | Inst. of Strength Mater. Acad. of Sci. of the Ukr. SSR. Kiev | | | | | | |
| 和 | 題 | FeのAEと塑性変形速度との関係 | 抄訳者 | 岸輝雄 (代表) | | | | | | |
| | 目 | FeのAEと塑性変形速度との関係 | 所属 | 東大宇宙研 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要

R.T. から液体N₂までの温度範囲, $2.38 \times 10^{-2}/s$ から $2.38 \times 10^{-4}/s$ の歪速度範囲で Fe の変形特性と AE パラメータとの関係を調べた。
 AE 挙動は, AE 源が塑性変形であると考えると良く理解できた。

2. 目的

Fe の変形特性と AE パラメータの関係を実験的に調べることを目的としている。AE のパラメータとしては総計測数 ΣN AE 計数率 $N = \frac{d\Sigma N}{dt}$, 振巾 A に注目した。

3. 内容

供試材は工業用純鉄 (0.05% C) 及びゾーンメルトした鉄 (0.005% C) の2種である。

Fig. 1 は種々の結晶粒度の材料を R.T., $\dot{\epsilon} = 2.8 \times 10^{-2}/s$ の条件で引張変形させた時の荷重-伸び曲線と ΣN の関係を示したものである。C 含有量の多い程, 材粒度が小さい程 ΣN は増大していることが見出される。

(図中 α -Fe は工業用純鉄,

Fe_{99.99} はゾーンメルトした鉄)

Fig. 2 はゾーンメルトした Fe の ΣN を粒度と歪速度を変えて求めた結果である。

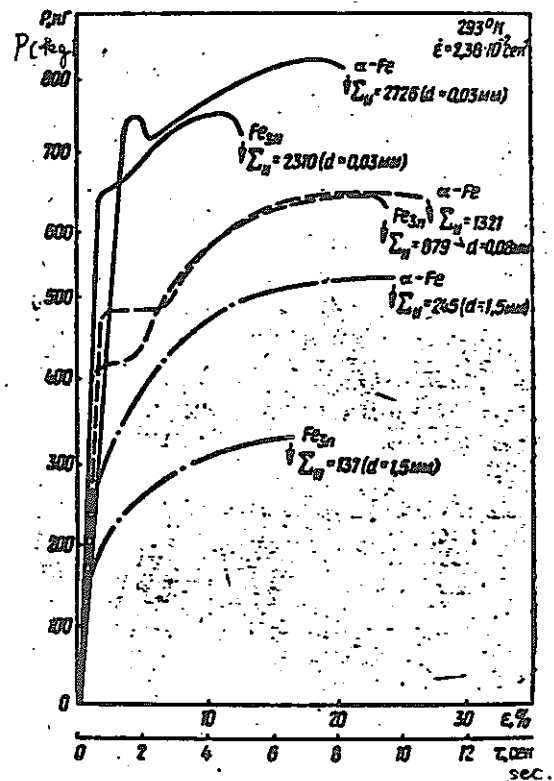


Fig. 1

ヲ-3-ス帯が伝播する
 領域に Σ_N の増加率が
 大きいことがわかる。このこ
 は ヲ-3-ス帯が伝播する
 際に局所的に歪速度の
 高い領域が出現すること
 良く一致している。この傾向は
 AKからでも同様である。

Fig. 3 はゾーンメルトした
 Fe の N と粒度の関係を
 調べた結果である。

両者の間にホールペッチ
 類似の

$$N = N_0 + k d^{-1/2}$$
 なる関係が成立しているこ
 がわかる。

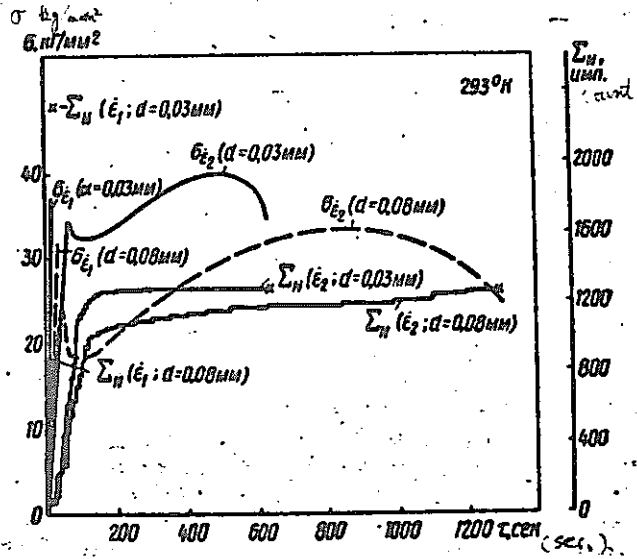


Fig. 2

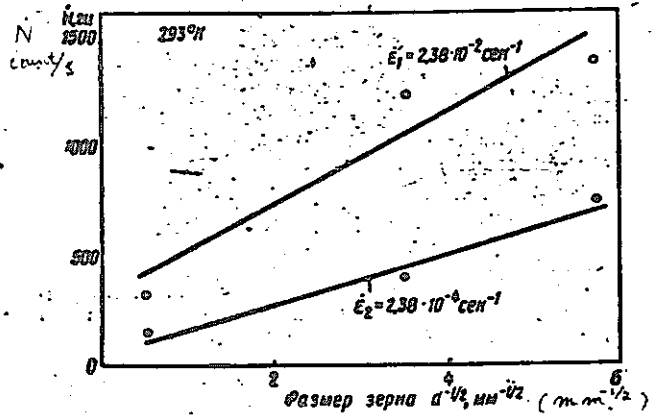


Fig. 3

4. 結 論

AE の発現は材料の塑性変形特性と良く
 対応しており、AE 源が塑性変形であることを示して
 いる。

5. 主な引用文献

Turner A. P. L., Vreeland T. Acta Met., 1970, vol. 18, N11

6. 評価および問題点

| | | | | | | | | | | |
|---|----|--|-----|---|------|---|----|---|----|---|
| 原 | 出典 | (MTPRAJ) MATERIALPRUEFUNG V19 N 11 NOV 1977 P449-454 | 番号 | 159 | 頁数 | 6 | 写真 | 5 | 図表 | 5 |
| 文 | 題 | Anwendung verschiedener Verfahren der Schallemissionsanalyse beim Erwidungsnißfortschritt in Schweißverbindungen | 著者 | Tilman Fischer | | | | | | |
| | 目 | | 所属 | INST. FUER ANGEW. MATERIALFORSCH BREMEN GER | | | | | | |
| 和 | 題 | 溶接継ぎ目における疲労クラック進展時の AE 法の適用 | 抄訳者 | 岸輝雄 (代表) | | | | | | |
| 文 | 目 | | 所属 | 東大宇宙研 | 発表月日 | | | | | |

1. 概要
 疲労進展時には種々の機構で AE が発生する。その周波数解析、独自の応答関数、エネルギー分布等と関連するとして、AE 信号源を分類し、その何れがどの確率で発生するかが出来る。得られた AE 信号を記録してエネルギー係数との関係として、疲労進展の様子をさぐることを目的とし、周波数スペクトル、エネルギー分布から明確な差異が認められた。

2. 目的
 構造物の監視に於て材料の変形動的経過を調べる上で AE 法は敏感にその挙動をとらえ、有効な手段であると考えられる。材料のマイクロとマクロの変化に伴う AE 信号と雑音から分離し、解析し、種々の手法を同時に組合せ、本論文では溶接部と熱影響部からの進展に伴う取り出された信号の評価を目的とした。

3. 内容
 原子炉構造材料 22NiMoCr37, 2in. CT 試験片に切欠きと引張熱影響部の多く生ずる電気溶接を施す。母材や溶接部組織に於ける粒成長の充分な進行した部分では進展が発生し得る。AE の発生源として 1- 溶接部析出物、2- マクロ進展面形成、3- 進展前縁の摩擦 などが考えられる。

1) pile up 現象が解放された時のエネルギーは低く、熱影響部の中の前の確率部分がマイクロ信号が AE として表れると考えられる。総エネルギー AE 信号 total の関係がある。

荷重レベルに対応して 3 種類の変位 AE 信号が観測される。タイプ I はマイクロ進展が生ずる以前に発生し、エネルギーは低く高周波成分の多い白色雑音に似た信号である。

これは、シフト層に於いての確率の高い含有物の割れマイクロ進展発生に伴うものと考えられる。

タイプ II, III はエネルギーがタイプ I より高く (10~30 dB) 繰返し数が多く、進展に伴うものと考えられる。

タイプ II は疲労の荷重レベルと引張時の除荷時、再荷時の中荷重レベルで発生し、熱影響部、溶接部近辺の面の摩擦が原因であると考えられる。

7.170 IIIは荷重レベルを落として 2 裂 前縁が平均に T_1, T_2 と見られるとすると明瞭になり 最大荷重付近で高圧側の AE が観測される。これは完全打たれた粒を割れ、2 裂を進行させる時に 2 裂縁に対応しているものと考えられる。

7.170 II, III も高周波成分が減少し III の方が顕著であり。どの程度の荷重レベルで 2 裂面に油を注ぎ込んだ場合、そのエネルギー分布と比較すると摩擦音が主打部分と一致と考えられる。この荷重レベルでは AE の発生が極端に落ち全エネルギーは減少するが、最大荷重付近のものだけについては何ら変化は見えない。

2 裂進展に伴い、溶接溶接部と熱影響部の rate count を比較すると、溶接部の方が全体的に count 数は下がる。この原因として、溶接組織の方が一般に粒が細かいこと、 T_1 の多い硬い、脆い含有物を含んでいることが原因であろうと考えられる。

T_1 の 2 裂進展速度は $\frac{da}{dt} \sim K^m$ の関係があり、 $m=2.5$ (103) である。

4. 結 論

種々の AE 解析テクニックを組み合わせ 2 裂進展に関する 1 つの AE 信号のカルーゴ分けを行なった結果、2 裂の発生原因と対応が明らかになり、構造材料の解析には本来的には 2 裂組織の均一性についても考慮に入れる必要があると考えられる。

5. 主な引用文献

- Eisenblätter J. Industrielle Anwendung der Schallemissionsanalyse Proc. 3rd Acoustic Emission Symposium 1976 Tokyo S 227/25
- Harris, D. O., H. L. Dunegan. Continuous Monitoring of Fatigue crack Growth by Acoustic Emission Techniques. Experimental Mechanics 4 (1974) Nr 28 716/1

6. 評価および問題点

2 裂進展に伴い、2 裂を方角 AE の観測分布を取ると 打たれた角度からの興味ある結果が得られることについては、このように 2 裂面に油を入れた状態では、 T_1 の割合が小さくなる。