

Perilaku Perambatan Retak Pada Sambungan Las Busur Rendam Plat Baja FeP05

Sujita

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram
e-mail: jita_darmo@plasa.com

Abstrak

Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW) merupakan pengelasan yang banyak digunakan untuk penyambungan struktur seperti perkapalan, bejana tekan, dan jembatan. Sambungan struktur di lingkungan korosif akan mengalami lelah korosi (*corrosion fatigue*) dan korosi retak tegangan (*stress cracking corrosion*). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku perambatan retak fatik di lingkungan korosif hasil pengelasan SAW plat baja FeP05. Pengelasan, menggunakan bahan pengisi (*filler*) jenis CHW-S3 dan fluks CHF101GX. Sifat khas perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl dibandingkan dengan perambatan retak fatik di udara. Standar pengujian rambat retak menggunakan ASTM E647, jenis spesimen *middle tension* (MTS). Hasil penelitian menunjukkan perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 10 %. Media korosi 3,5% NaCl memiliki sifat yang mempercepat fatik pada ΔK kurang dari 23,269 MPa.m^{1/2}, laju perambatan retaknya (*dA/dn*) lebih besar dari udara, sedangkan untuk ΔK lebih dari 23,269 MPa.m^{1/2}, laju perambatan retak udara lebih besar.

Kata kunci: perambatan retak fatik, SAW, plat baja FeP05

Abstract

Submerged Arc Welding (SAW) is the welding process which used for the extensions of structure/machine, for example ship, vessels and construction bridge. The common forms of environmentally assisted cracking are stress corrosion cracking (SCC) and corrosion fatigue. This research aims to investigate fatigue properties, stress corrosion cracking (SCC) and corrosion fatigue of the chemical environment. SAW process use steel sheet grade FeP05, the Atlantic CHF101GX flux, and using the Atlantic CHWS3. electrode (filler). To investigate the fatigue properties, the ASTM E647 test standard was used. The results of this research show that fatigue life of 3,5% NaCl concentration of specimen are indicated by 10 % decrease. Corrosion environment of 3,5% NaCl accelerate fatigue life the weld metal on ΔK lower than 23,269. Fatigue crack growth rate of 3,5% NaCl concentration is the lowest for ΔK lower than 23,269 MPa.m^{1/2}, but for ΔK higher than 23,269 MPa.m^{1/2}, fatigue crack growth rate specimen of the air is higher.

Keywords: Fatigue crack growth rate, submerged arc welding, steel sheet Grade FeP05

1. PENDAHULUAN

Struktur/ mesin di lingkungan korosif akan mengalami lelah korosi (*corrosion fatigue*) dan retak korosi tegangan (*stress corrosion cracking*). Struktur/ mesin diatas, seperti perkapalan, bejana tekan, jembatan dan lain-lain, selalu mendapat pengelasan dalam perakitanannya. Pengelasan busur rendam (SAW) merupakan salah satu pilihan untuk proses manufaktur tersebut. Sambungan las, pada pemakaiannya akan selalu mendapat tegangan baik dari beratnya sendiri ataupun gaya-gaya luar yang bekerja. Suatu ciri retak korosi tegangan akibat gabungan tegangan tarik statik dan lingkungan biasanya terjadi secara mendadak tanpa adanya gejala awal serta tidak dapat diduga (Trethewey, 1991).

Berdasarkan hal tersebut diatas, pada penelitian ini akan dibahas suatu usaha untuk menyelidiki ketahanan fatik sambungan las di lingkungan korosif pada bahan baja ASTM A572

Grade 50 dengan proses SAW.

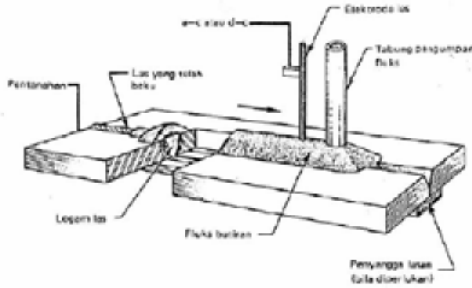
2. TINJAUAN PUSTAKA

Kegagalan lelah (*fatigue failure*) selalu terjadi pada setiap struktur dan komponen akibat tegangan yang besar dan arah yang berubah-ubah. Retak korosi tegangan (SCC) di lingkungan basah, ketahanan logam terhadap lelah menurun.

Magnin.,(1995) memprediksikan mekanisme-mekanisme kelelahan karat berdasar pada suatu analisis yang terperinci, kemungkinan kerusakan berdasar pada pengendalian ilmu kimia fisika dengan memperbandingan antara corrosion fatigue (CF) dan stress corrosion crack (SCC).

Aoki dkk (1986) menyelidiki tentang fatik pada sambungan las struktur baja planar, dengan media udara dan air laut. Dengan memakai persamaan $dA/dN = 4,81 \times 10^{-}$

$^{13}(\Delta K)^{3,6}$, hasil beda faktor intensitas tegangan (ΔK) yang didapat sebesar $5 \sim 6 \text{ MN.m}^{-3/2}$. Untuk perhitungan fatik korosi dengan persamaan $dA/dN = 5,41 \times 10^{-12} (\Delta K)^{2,7}$.



Gambar 1. Las Busur Rendam (Kou, 1987)

Kegagalan pada sambungan las sering disebabkan oleh fatik korosi sebagai akibat dari kombinasi beban berulang, dan lingkungan korosif. Smith, [9] telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan metalurgi retak awal akibat korosi, (*corrosion-fatigue circumferential*) dan pertumbuhan retak baja Cr-Mo. Retak diawali dengan suatu mekanisme *thermal fatigue*. Pertumbuhan retak terjadi oleh mekanisme termal lelah yang dibantu oleh lingkungannya.

Penyelidikan tentang fatik korosi sambungan las baja ASTM A 568 M-88 di lingkungan korosif telah dilakukan [10] dengan media udara dan air garam.

Hasil yang didapat, ΔK di udara lebih $2,7 \text{ MPa m}^{1/2}$ dari pada air garam, sedang konstanta Paris C dan m masing-masing $1,35 \cdot 10^{-11}$ dan $2,47$ untuk udara, serta $2,25 \cdot 10^{-12}$ dan $3,2$ untuk air garam.

Pengujian yang dilakukan oleh [6] menunjukkan bahwa laju pertumbuhan retak sambungan las baja pada lingkungan air laut 3 kali lebih cepat dari pertumbuhan retak pada udara. Shingai (1990) menyatakan bahwa perbedaan antara keduanya tidak bisa diperjelas, tetapi tidak disebabkan oleh keretakan korosi tegangan dan perbedaan laju pertumbuhan yang serupa di antara lingkungan air laut dan di udara bisa ditemukan untuk logam dasar baja.

Baja banyak dipakai sebagai bahan industri karena sifat-sifat baja yang bervariasi, yaitu bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibentuk sampai yang paling keras dan sukar dibentuk. Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada besarnya kandungan kadar karbon. Kekuatan dan kekerasan suatu baja bertambah tinggi bila kadar karbon naik, tetapi perpanjangan/keuletannya

menurun.

Las Busur Terendam (Submerged Arc Welding/ SAW)

Las busur terendam merupakan salah satu proses pengelasan busur di mana logam-logam disatukan dengan cara pemanasan dengan sumber panas dari busur antara logam elektroda dengan logam dasar, dengan busur diselubungi oleh butiran yang dinamakan fluks di atas daerah pengelasan (Kou, 1987). Butiran penyelimut merupakan material yang dapat ikut bergabung dengan logam las. Secara umum, proses las busur terendam seperti Gambar 1.

Tabel 1. Komposisi Logam las

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	W	Ti	Al
0,1296	1,4185	0,338	0,0191	0,0074	0,0282	0,0018	0,0206	0,065	0,0043	0,0043	0,0128

Rambat Retak Bahan

Rambat retak fatik dapat didekati dengan persamaan Paris (Broek, 1987) sebagai berikut :

$$\frac{da}{dN} = A \Delta K^n \tag{1}$$

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi a_{aw}}{2W}} \text{Sec} \frac{\pi \alpha_{aw}}{2} \tag{2}$$

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_a = \frac{(a_{i+1} - a_i)}{(N_{i+1} - N_i)} \tag{3}$$

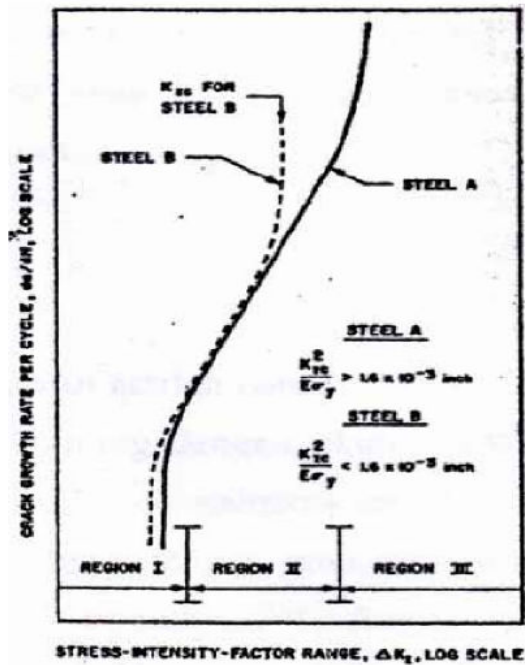
$$\bar{a} = \frac{1}{2} (a_{i+1} + a_i) \tag{4}$$

$$\alpha_{aw} = \frac{2a}{W} \text{ untuk } \frac{2a}{W} < 0.95 \tag{5}$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \text{ untuk } R > 0 \tag{6}$$

$$\Delta P = P_{\max} \text{ untuk } R \leq 0 \tag{7}$$

Perambatan retak fatik bahan digambarkan dalam skala log dalam region II.(Gambar 3.)



Gambar 2. Ilustrasi Perambatan Retak Fatik Pada Baja (Rolfed & Barsom)

Specimen Midle Tension (MTS) komponen persamaan (1) dapat dihitung dengan menggunakan metode *secant* (ASTM, 2003) sebagai berikut :

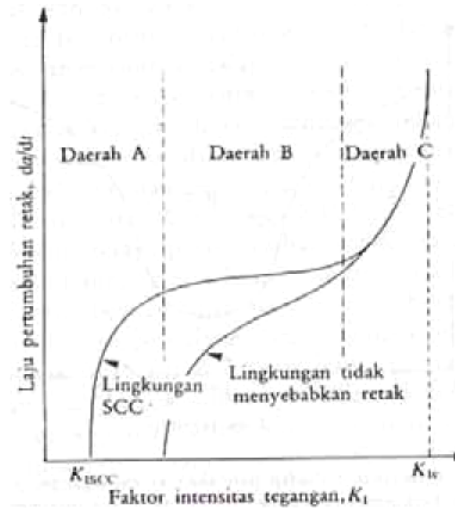
a adalah panjang retak, a/w perbandingan antara dua kali panjang retak dengan lebar spesimen, N jumlah siklus. A dan n konstanta Paris, ΔK beda faktor intensitas tegangan, P beban, W lebar spesimen, dan B adalah tebal spesimen serta R rasio tegangan.

Pengukuran pertumbuhan retak dalam suatu percobaan di lingkungan korosif di bagi dalam tiga daerah (Gambar 4), yaitu:

Daerah A, pertumbuhan retak terkait erat dengan intensitas tegangan, tetapi lajunya turun cepat hingga nol. Ekstrapolasi di sini menunjukkan adanya intensitas tegangan ambang batas. Di bawah harga itu pertumbuhan retak tidak terjadi.

Daerah B, pada zona ini, ketergantungan pada intensitas tegangan kecil sekali. Pertumbuhan retak berlangsung dengan laju hampir konstan yang lebih cepat dari laju di lingkungan kontrol

Daerah C, pengaruh lingkungan kurang berperan. Perpatahan sangat bergantung pada intensitas tegangan dan mirip dengan perilaku spesimen-spesimen yang di uji di lingkungan korosif.



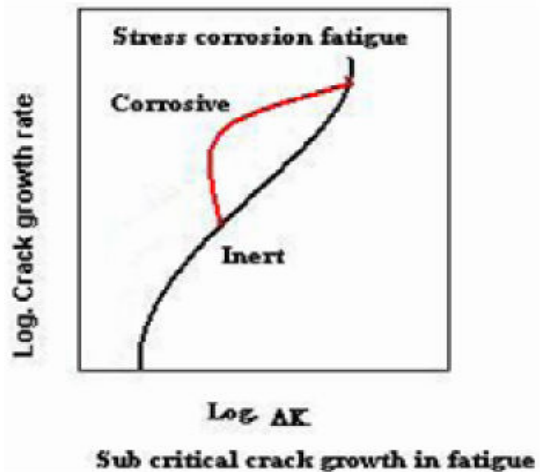
Gambar 3. Kerentanan Terhadap SCC Melalui Pengukuran Laju Pertumbuhan Retak (Trethewey, 1991).

Korosi Fatik

Lelah korosi (korosi fatik) dapat terjadi pada tingkat-tingkat tegangan jauh lebih rendah dari tingkatan untuk SCC. Gambar4. memperlihatkan karakteristik lelah dan lelah korosi pada baja paduan rendah pada kondisi lembam maupun di lingkungan yang mengandung natrium klorida..

Lelah korosi dapat terjadi menurut salah satu dari hal berikut:

1. Aktif : terkorosi dengan bebas, misalnya baja karbon dalam air laut
2. Imun : logam dalam keadaan terlindung baik secara katodik maupun dengan coating
3. Pasif : logam dalam keadaan terlindung oleh selaput permukaan yang dibungkuskan oleh korosi sendiri, biasanya selaput oksida.



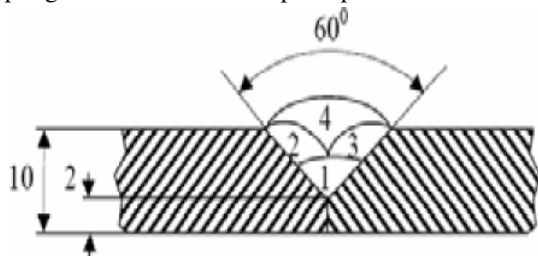
Gambar 4. Karakteristik Umum Kurva Lelah Korosi

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian meliputi pengelasan, pengujian tarik, dan pengujian perambatan retak fatik, dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin UGM.

Pengelasan SAW

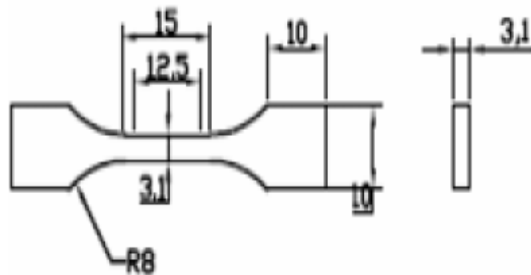
Proses pengelasan menggunakan las busur rendam atau *submerged arc welding* (SAW) sebanyak 4 tahap (multi run deposits), dengan tegangan 30 volt, arus 450A dan heat input 2 kJ/mm, kecepatan pengelasan 8,89 mm/detik. (standard ISO 2560-1973). Kalor masukan pada proses pengelasan adalah 1,574 kJ/mm dengan asumsi efisiensi kalor 100 %. Elektroda yang digunakan adalah Atlantik CHW-S3 Ø 4 mm dan fluksnya Atlantik CHF101GX. Logam induk adalah baja ASTM A572 Grade 50, dimensinya 400 mm x 150 mm x10 mm, alur las bentuk V dengan sudut 60°. Proses pengelasan dilakukan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses pengelasan multi run deposits

Uji Tarik

Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard ASTM E 92-82 seperti pada Gambar 6. di bawah dengan garis las tegak lurus dengan arah beban (*transversal butt joint*)



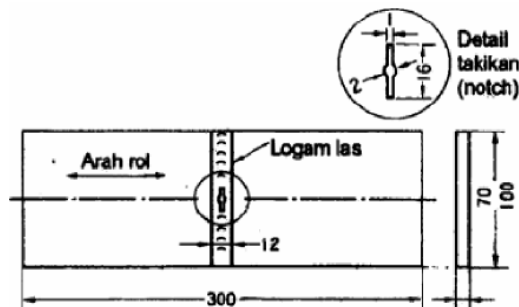
Gambar 6. Spesimen Uji Tarik Transversal (ASTM E 92-82)

Uji Rambat Retak Fatik Korosi

Pengujian rambatan retak fatik di dalam media korosif terlihat seperti pada Gambar 9 di bawah. Media korosi yang digunakan berupa larutan Na Cl.

Spesimen dibuat menurut standard ASTM E-647 dengan retak awal di bagian tengah (*center-*

cracked tension atau CCT) seperti pada Gambar 8 di bawah. Pengujian dilaksanakan dengan R=0,1 frekuensi 11 Hz dengan stress level sekitar 15 s/d 20 %. Retak awal dibuat sejajar dengan arah las dan tegak lurus terhadap arah rol. Tebal pelat 3 mm dan lebar 70 mm.



Gambar 7. Spesimen CCT

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Tabel 2. Data Pengujian Tarik

Spesimen	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	w ₁ (mm)	w ₂ (mm)	w ₃ (mm)	L ₀ (mm)	L _t (mm)	P _u Kg	σ _u Kg/mm ²	σ _b Kg/mm ²	ε (%)
(1)	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,35	15,35	20,01	598	56344	34,2	30,358
(2)	3,2	3,15	3,2	3,45	3,5	3,5	14,75	18,2	612	55193	33,3	23,390
(3)	3,25	3,3	3,3	3,3	3,3	3,35	15,05	19,1	658	60422	36,9	26,910

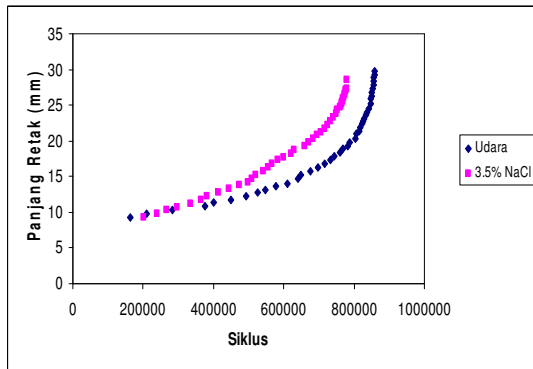
Tabel 2. Data Pengujian Tarik Lanjutan

Spesimen	A ₀ rata-rata (mm ²)	ε (%)	P _u rata-rata	σ _u rata-rata
(1)	10613			
(2)	11088	28,8861	622667	57320
(3)	10890			

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan beban yang digunakan untuk pengujian fatik. Spesimen dari daerah logam las, sejumlah 3 batang, masing-masing di uji sebagaimana diperoleh hasil pada Tabel 4

Hasil Uji Fatik

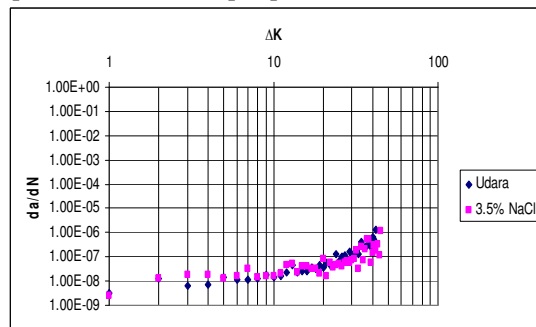
Beban uji fatik ditentukan berdasarkan hasil uji tarik. Tegangan maksimum awal yang diberikan besarnya sekitar 20 % dari kekuatan luluh rata-rata spesimen. Dari uji fatik, diperoleh hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak seperti Gambar 9.



Gambar 8. Hubungan Antara Panjang Retak Dengan Jumlah Siklus

Gambar 8. memperlihatkan bahwa jumlah siklus patah untuk media korosi 3,5% NaCl mempercepat siklus fatik, jika dibandingkan dengan media udara. Hal ini menunjukkan bahwa larutan NaCl merupakan larutan korosif yang mempengaruhi sifat-sifat kekuatan fatik bahan.

Beda faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak tampak pada Gambar 10.



Gambar 9. Hubungan Antara Beda Faktor Intensitas Tegangan Dengan Laju Perambatan Retak Dalam Skala Log

Konstanta Persamaan Paris di dapatkan dari garis-kecenderungan (*trendline*) hubungan antara beda faktor intensitas tegangan (da/dN) dengan laju perambatan retak (ΔK) dalam skala log (Gambar 9). Dari gambar tersebut diperoleh konstanta Paris (A dan n) sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Garis potong laju perambatan retak antara media udara dan media 3,5% NaCl di dapatkan pada $AK = 23\ 269$. Media korosi 3,5% NaCl memiliki sifat yang mempercepat fatik, laju perambatan retaknya (da/dN) lebih besar dari udara. Spesimen untuk media korosi 3,5% NaCl, patah pada nilai AK tertinggi $56,266\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, sedangkan untuk spesimen pada udara mempunyai AK tertinggi $44,5472\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

lebih kecil daripada spesimen media korosi 3,5% NaCl

Tabel 5. Konstanta Persamaan Paris

MEDIA SPESIMEN	A	n
3,5% NaCl	8E-11	2,097
Udara	3E-13	3,872

5. KESIMPULAN

Media korosi 3,5% NaCl, memberikan siklus fatik sebesar 780514, sedangkan jumlah siklus fatik untuk udara 858264, berarti perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 10 %. Media korosi 3,5% NaCl, memberikan laju rambat retak paling rendah untuk nilai ΔK

lebih besar dari $23,269\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ dan udara memberikan laju perambatan retak

paling rendah untuk nilai ΔK kurang dari $23,269\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, sedangkan harga konstanta Paris A dan n berturut-turut 8E-11 dan 2,097 untuk media 3,5% NaCl serta 3E-13 dan 3,872 untuk udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aoki, T., Nakano, K., Fukuhura, H., Okada, A., 1986, **Fatigue Life And Corrosion Fatigue Life Prediction Of Welded Joints Of Structural Steel Containing Planar Defects**, Transactions ISIJ, Vol. 26, Pp. 977- 994
- [2] ASTM., 2003, **Metal Test Methods And Analytical Procedures, Annual Book Of Stm Standard**, Sec. 3, Vol. 03.01, E647-00, Pp.61 5-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken
- [3] Broek, D., 1983, **Elementary Engineering Fracture Mechanics**, Martinus Nijhoff Publisher, The Hague, Netherlands
- [4] Easterling, K.E., 1992, **Introduction To The Physical Metallurgy Of Welding**, Butterworth-Heinemann, London, Uk
- [5] Jones, A.D., 1991, **Principles And Prevention Of Corrosion**, Macmillan Publishing Company, New York
- [6] Kawano, H., 2002, **Fatigue Strength Of Thermo-Mechanically Controlled Process Steel And It's Weld Joint**, National Maritime Research Institute, Japan.
- [7] Lancaster, J.F., 1999, **Metallurgy Of Welding**, Abington Publishing, Cambridge, Uk
- [8] Magnin, T., 1995, **Recent Advances**

- For Corrosion Fatigue Mechanisms,**
ISIJ
International, Vol. 35, Pp, 223-233
- [9] Smith, B.J., Marder, A.R., 2003, **A Metallurgical Mechanism For Corrosion- Fatigue (Circumferential) Crack Initiation And Propagation In CrMo Boiler Tube Steels**, Pa 18015, Usa
- [10] Wahab, M.A., Sakano, M., 2001, **Experimental Study Of Corrosion Fatigue Behaviour Of Welded Steel Structures**, Osaka, Japan