研究報告

硫化物を含有した強アルカリ水溶液中の SUS 304 L の応力腐食割れ挙動

本田 正 春,* 小林 泰 男**

Stress Corrosion Cracking Behavior of SUS 304 L Stainless Steels in An Alkaline-Sulfide Solutions

by

Masaharu HONDA† and Yasuo KOBAYASHI††

The resistance of commercial austenitic stainless steel, SUS 304 L, to stress corrosion cracking in a 5% NaOH-2% Na₂S-2% Na₂CO₃-0.2% Na₂SO₄-0.1% NaCl-H₂O solution at elevated temperatures has been studied by immersion tests and electrochemical measurements.

A mixture of intergranular corrosion cracking and transgranular cracking was observed at the fractured U-bend specimen immersed in the test solution at 423 K. The effects of solution composition and test temperature on the occurrence of stress corrosion cracking were examined. It was found that both the presence of Na₂S in the solution and the temperature higher than 423 K was necessary to occur stress corrosion cracking and the presence of sodium chloride, sodium carbonate, and sodium sulfate had little effect on stress corrosion cracking occurrence. Cracking of U-bend stressed specimens was found to occur at a potential near the active/passive transition range of SUS 304 L. The results are discussed with reference to electrochemical behavior and the analyses of surface corrosion films.

Key Words : stress corrosion cracking, alkaline environment, stainless alloy

1. 緒 言

アルカリ環境における実用金属材料の腐食の研究は、食塩電解工業や原子力工業を背景に進められており、すでに多くの解説^{1)~6)}が著されている。防食の観点からの材料選択についても多くの知見が得られており、日根ら⁷⁾は炭素鋼やステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC) を NaOH 濃度と温度との関係で総括している。それによると、SUS 304 は全濃度で、SUS 316 は約 35 % 以上で SCC を生じ、ともに約 50 % の場合、SCC 発

平成 6 年 5 月 16 日受付

* NKK エンジニアリング研究所 津第二研究部材料防食研究室
〒514-03 三重県津市雲出鋼管町1番地

** NKK 総合材料技術研究所 福山研究所鋼材研究室
〒721 広島県福山市鋼管町1番地

† NKK Engineering Research Center, Tsu Laboratories,
Materials and Corrosion Protection Laboratory,
1, Kumozu Kokan-cho, Tsu, Mie, 514-03, Japan

†† NKK Materials & Processing Research Center, Fukuyama
Laboratories, Steel Products Laboratory
1-1, Kokan-cho, Fukuyama, Hiroshima, 721, Japan

生温度が最も低い。SCC 発生温度については304の場合、15% NaOH 以下：473 K 超、316の場合、約35%以上：400 K 超と予想される。ところが、Audouard⁷⁾は443 K の約14% NaOH-2% Na₂S 水溶液中で DIN1.4523 (316 Ti) や SUS 317 L に SCC の発生を報告している。Manning⁸⁾は類似の溶液中で366 K という低い温度にもかかわらず、SUS 316 L や SUS 317 L, UNS N 08904 (904 L) に SCC の発生を報告している。これらの結果は、Na₂S の含有によって SCC 発生の NaOH 濃度と温度が、低濃度・低温度への拡大を示唆している。

NaOH 中の鉄鋼材料の SCC に及ぼす Na₂S の影響は、炭素鋼を対象に系統的な研究がなされ、すでに SCC 発生電位域^{9, 10)}の存在や Na₂S による腐食の促進作用¹¹⁾、腐食皮膜の形態¹²⁾などが報告されている。しかし、ステンレス鋼については前述した SCC の発生事例が報告されている程度であり、SCC 挙動については不明な点が多い。本報告では、Na₂S を含む高温の NaOH 水溶液における304タイプのステンレス鋼の SCC 挙動について検討した結果を述べる。

2. 試験方法

2. 1 供試材

JIS G 4304に準拠して製造された板厚20 mm の SUS 304 L (304 L) で、主成分は C : 0.02 wt %, Si : 0.58, Mn : 0.96, P : 0.028, S : 0.006, Ni : 10.5, Cr : 18.5 である。

2. 2 SCC 試験

機械加工によって採取された U 曲げ試験片 (2 mm² × 15 mm² × 75 mm¹) の全面を SiC 研摩紙で320番までの湿式仕上げとし、半径8 mm のポンチで U 字型に曲げた。試験溶液へ浸せきする直前に試験片をアルカリ洗浄剤 (商品名ディップゾル, 10%, 約333 K, 約6 × 10³ s) で脱脂してから、水道水と脱イオン水で洗浄した。風乾後、ポリ四沸化エチレン製治具を介して高 Ni 合金製ボルトとナットで U 曲げの内りが15 mm まで締め付けた。曲げ頂部に発生した応力をひずみゲージ法 (ASTM, E 837-89) で求めたところ、約490 MPa であった。

特級試薬と脱イオン水を用いて調製された5% NaOH-2% Na₂S-2% Na₂CO₃-0.2% NaCl-0.1% Na₂SO₄-残 H₂O を標準試験溶液とした。試験

片の浸せきには内容積0.01 m³の UNS N 10276製の密閉容器を用い、この容器をさらに内容積0.02 m³のオートクレーブに脱イオン水とともにに入れて加熱し、所定の温度に到達後2.4 × 10⁶ s 保持した。試験片の表面積と試験溶液の割合は、0.1 m²/m³以上を確保した。オートクレーブ内の測温と温度制御は、容器とオートクレーブの間の脱イオン水中で行った。

2. 3 電気化学測定

分極曲線の測定には、旗型試験電極 (試験表面積：0.001 m²) を用い、電極面のみを SiC 研摩紙で600番の湿式研摩仕上げとした。銅製リード線の取り付け部をポリ四沸化エチレン樹脂で覆ったあと、アセトン中で超音波洗浄してから、直ちに試験に供した。

試験電極を UNS N 10276製電解槽に取り付けて試験溶液を入れてから、窒素を約3.6 × 10³ s 間吹き込んだ。試験温度に到達してから3 × 10³ s 後の電極電位を自然浸漬電位 (E_{corr}) として、約-1 V から約-0.2 V までの電位をポテンショスタット (東方技研, モデル2000) により3.3 × 10⁻⁴ V/s で変えて電流の変化を測定した。なお、本文中で表す試験電極電位は、室温の飽和銀/塩化銀電極 (東伸工業, 圧力平衡型外部参照電極) を基準とする。

2. 4 腐食皮膜の分析

423 K の標準溶液中にバフ研磨で仕上げた304 L を2.4 × 10⁶ s 浸漬して得られた腐食皮膜をアルゴンイオンでスパッター (スパッター条件：5 × 10³ V, 1.3 × 10⁻³ A) しながら、深さ方向の元素分布をオージェ電子分光析装置 (AES, Perkin-Elmer 社, PHI-600型) で測定した (1次電子ビーム：3 × 10³ V, 3 × 10⁻⁷ A, 直径約2 × 10⁻⁶ m)。

また、同様な条件で生成させた腐食皮膜について、X線回折 (理学電機社, RU-300型) も行い (Cu管球, 5 × 10⁴ V, 0.07 deg/s), 皮膜の構成物質の同定を試みた。

3. 結 果

3. 1 SCC の伝播挙動

423 K の標準試験溶液に2.4 × 10⁶ s 間浸せき後の304 LU ベンド試験片は、密着性が乏しい金色がかった黒色の皮膜で覆われ、曲がり部分には目視で判別可能な SCC が認められた。試験片を概ね貫通した SCC の破面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察し、Fig. 1 に

Figure 1 SEM examinations of fractured SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions, 5 % NaOH-2 % Na_2S -0.2 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 2.4×10^6 seconds at 423 K.

Figure 2 Cross-sectional view of fractured SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions, 5 % NaOH-2 % Na_2S -0.2 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 2.4×10^6 seconds at 423 K.

示す。破面には無数の分岐した亀裂の存在が観察された。SCC 伝播経路の明確な判別は困難なものの、破面すなわち主亀裂は結晶粒内、二次亀裂は結晶粒界と思われる。

SCC の伝播を確認するため、貫通亀裂からやや離れた部位の長手方向断面から未貫通の SCC を光学顕微鏡で観察した。低倍で観察された視野の一例を Fig. 2 に示す。SCC は数箇所まで生じており、いずれも表面から板厚方向に向けて分岐しながら伝播していた。それらの中の典型的な SCC 伝播例を Fig. 3 に示す。S

Figure 3 Optical microscopic examinations of SCC propagation behavior of fractured SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions, 5%NaOH-2 % Na_2S -0.2 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 2.4×10^6 seconds at 423 K.

CC の伝播経路は主亀裂が結晶粒内であり、先端の亀裂や主亀裂から分岐した二次亀裂は結晶粒界であった。この傾向は試験片で観察された SCC すべてに共通しており、SEM による破面観察結果と同様であった。

3. 2 SCC 発生に及ぼす環境側の影響

3. 2. 1 溶液成分

標準溶液における 304 L の SCC 発生に対する溶液側支配因子を検討するため、標準溶液 (D) から 2 % Na_2S と 0.2 % NaCl をそれぞれ単独および複合して取り除いた溶液 (A, B, C) を実験に供した。

溶液成分と SCC 発生の有無、試験片の外観との関係を Table 1 に、試験片の断面を Fig. 4 に、皮膜の外観を Fig. 5 にそれぞれ示す。304 L における SCC の有無や表面皮膜の外観は、溶液成分によって大きく異なった。すなわち、溶液に Na_2S が含まれる B と D でのみ SCC が生じ、SCC の伝播経路はともに結晶粒内と結晶粒界の混合型であった。また、金色がかった黒色の皮膜は Na_2S 含有条件 (B, D) でのみ観察

Table 1 Effect of Na_2S and NaCl in test solutions on cracking behavior and surface appearances of 304 L U-bend specimens immersed for 2.4×10^6 seconds at 423 K

Solution	Cracking behavior	Surface appearance	
		Macroscopic observation	SEM examination
(A) 5 % NaOH -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O	No crack	Black films	Covered with granular deposits
(B) 5 % NaOH -2 % Na_2S -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O	IGC, TGC	Mixture of golden and black films	Covered with nonuniform deposits
(C) 5 % NaOH -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O	No crack	Black films	Covered with granular deposits
(D) 5 % NaOH -2 % Na_2S -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (Standard solution)	IGC, TGC	Mixture of golden and black films	Covered with nonuniform deposits

TGC : Transgranular cracking, IGC : Intergranular cracking

Figure 4 Effect of chemical compositions of test solutions on SCC occurrence of SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions for 2.4×10^6 seconds at 423 K : (a) 5 % NaOH -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (b) 5 % NaOH -2 % Na_2S -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (c) 5 % NaOH -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (d) 5 % NaOH -2 % Na_2S -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O

Figure 5 Effect of chemical compositions of test solutions on corrosion surface films SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions for 2.4×10^6 seconds at 423 K : (a) 5 % NaOH -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (b) 5 % NaOH -2 % Na_2S -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (c) 5 % NaOH -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , (d) 5 % NaOH -2 % Na_2S -0.2 % NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O

Table 2 Effect of temperatures on cracking and surface appearances of 304 L U-bend specimens immersed in solution A and B for 2.4×10^6 seconds.

Temperature/K	Solution A		Solution B	
	Cracks	Surface appearance	Cracks	Surface appearance
373	No	No films	No	Black films
423	Yes	Mixture of golden and black films		
473	Yes	Mixture of golden and black films	No	Black films

Solution A : 5 % NaOH- 2 % Na₂S- 2 % Na₂CO₃-0.1 % Na₂SO₄-H₂O

Solution B : 5 % NaOH- 0.2 % NaCl- 2 % Na₂CO₃-0.1 % Na₂SO₄-H₂O

され、Na₂S を含まない条件 (A, C) では黒色の皮膜であった。定性的な皮膜性状の比較ではあるものの、前者は生成量が多かつ密着性が乏しかったのに対して、後者は生成量が少なく緻密で密着性が良かった。皮膜の SEM 観察結果によると、前者の条件で生成された腐食皮膜では粒状の析出物が一面に認められたのに対して、後者では無定形の皮膜とわずかな粒状の析出物が認められた。

以上の結果から、423 K の NaOH 中における 304 L の SCC 発生には Na₂S の存在が必須であり、NaCl の有無は SCC 発生に無影響と判断される。また、Na₂S の有無によって、皮膜形態が大きく異なり、SCC 発生と密接な関係が伺える。

3. 2. 2 温度

304 L の SCC 発生に及ぼす温度 (373~473 K) の影響を標準溶液で調べ、SCC 発生と試験片外観をまとめて Table 2 に示す。なお、473 K では標準溶液から Na₂S を除いた溶液も実験に供した。標準溶液における 304 L の SCC は 373 K で認められず、423 K, 473 K で認められた。473 K での SCC も結晶粒内と結晶粒界の混合型であり、423 K のそれと同様であった。ただし、SCC の発生頻度は温度の上昇とともに大きくなる傾向を示した。なお、Na₂S を含有しない溶液では 473 K でも SCC 発生が認められなかった。

標準溶液の試験片で観察された皮膜は 373 K で認められず、試験片は金属光沢を示したのに対して、473 K では 423 K と同様な金色がかった黒色の皮膜が観察された。Na₂S を含有しない溶液では 423 K で黒色であったのに比べ、473 K では黒褐色になった。

3. 3 電気化学的挙動

3. 3. 1 分極曲線

標準溶液中、423 K に到達後 3×10^3 s 間の 304 L の

Figure 6 Polarization curve of SUS 304 L specimen in deaerated solutions, 5 % NaOH- 2 % Na₂S-0.2 % NaCl- 2 % Na₂CO₃-0.1 % Na₂SO₄-H₂O, at 423 K.

自然電極電位 (E_{corr}) は、一定値を示さず、-0.8 V と -0.6 V の間の往復を繰り返した。-1.0 V より貴な電位への走査によって得られた 304 L の分極曲線を Fig. 6 に示す。約 -0.9 V で電流が極大を示す活性溶解ピークと -0.6 V まで不動態、-0.6 V より貴な電位での電流増加がそれぞれ観察された。

濃厚アルカリ性水溶液中では、Cr の含有のため 304 タイプの狭い不動態領域が知られ、368 K の 34 % NaOH では -0.4 V より貴な電位で過不動態溶解が観察されている¹³⁾。本試験ではより卑な電位で電流増加が観察され、全面溶解や局部溶解は試験後の試験電極で観察されなかった。したがって、この電流増加は S^{2-} の $S_2O_3^{2-}$ への酸化反応¹²⁾ と推定される。

3. 3. 2 SCC 発生と電位

U 曲げ試験片を不動態の -0.7 V に保ち、423 K で 1.2×10^6 s 浸せきした。比較のため同時に自然浸せき

状態の試験片も用い、 E_{corr} の長期経時変化を調べた。SCC の発生は、自然浸せきされた試験片で認められ、 -0.7 V に保持されたそれには認められなかった。自然浸せきされた試験片には皮膜の生成が認められたものの、分極された試験片にはわずかな皮膜生成のみであり、一部には金属光沢が見られた。

U 曲げ試験片で測定された E_{corr} の経時変化を Fig. 7 に示す。浸せき初期に不動態と活性態の往復を繰り返したあと、約 -0.8 V に落ち着いていた。これは活性態／不動態の遷移域である。

3. 4 腐食皮膜

試験片表面の生成物の観察から、 Na_2S の有無によってその形態が大きく異なったので、標準条件と標準条件から Na_2S を除いた条件で皮膜を生成させ、構成成分や構造や分析を実施した。

SEM 付属の非分散型分光器 (EDX) で分析された腐食皮膜の主な構成元素は Ni と Cr, Fe であり、 Na_2S を含む条件では S がそれらに加わっていた。Ni と Cr, Fe, S に O を加えて皮膜の深さ方向の成分変化を AES で測定し、Fig. 8 に示す。 Na_2S の有無にかかわらず皮膜中には高濃度の O が検出され、酸化物を主体とした皮膜の生成が示唆される。ただし、皮膜厚さおよび O や金属種の深さ方向の濃度変化は、 Na_2S の有無によって異なっている。すなわち、酸素が消失するまでのスパッター時間を概ね皮膜厚さとみ

Figure 7 Variations of open-circuit potential of SUS 304 L U-bend specimen immersed in deaerated solutions, 5 % NaOH-2 % Na_2NaCl -2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 2.4×10^6 seconds at 423 K.

なすと、 Na_2S を含む条件で生成された皮膜の方が長く、厚い皮膜と考えられる。 Na_2S を含まない条件で生成された皮膜では Cr が、 Na_2S を含む条件で生成された皮膜では Ni が、それぞれ母材濃度に比べて高い濃度になっており、皮膜中での濃縮が認められた。なお、後者の皮膜では深さ方向全体にわたって S が存在し、Ni の濃度変化と対応していた。

X 線回折による腐食皮膜の同定結果を Fig. 9 に示す。 Na_2S 未含有条件では腐食皮膜を構成する物質として Fe_3O_4 , NiO などの酸化物が同定された。一方、 Na_2S 含有条件では Fe_3O_4 , NiO などの酸化物の他に、 $(\text{FeNi})_3\text{S}_4$ の存在が推定された。ただし、 $(\text{FeNi})_3\text{S}_4$ に一致する回折線は裾広がりて結晶性を欠くようであり、皮膜中の S 含有量の割に明確でなかった。

4. 考 察

日根ら⁵⁾の整理によれば、高温高濃度 NaOH 溶液中でのオーステナイト系ステンレス鋼の SCC は、自然電極電位あるいは極大活性溶解点での粒内伝播型で

Figure 8 Concentration profiles of alloy elements of SUS 304 L immersed in deaerated solutions, 5 % NaOH-0.2 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 1.2×10^6 seconds at 423 K: (a) with 2 % Na_2S and (b) without 2 % Na_2S .

Figure 9 X-ray diffraction result on SUS 304 L immersed in deaerated solutions, 5 % NaOH-0.2 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -0.1 % Na_2SO_4 - H_2O , for 1.2×10^6 seconds at 423 K : (a) with 2 % Na_2S and (b) without 2 % Na_2S .

ある。NaOH 中でステンレス鋼に生じる SCC は皮膜破壊型であり、SCC の発生や破壊形態は皮膜の保護性に依存するといわれている¹⁰⁾。304 L の SCC 発生は 10 % NaOH 中で 593 K¹⁵⁾ を必要とするのに対して、2 % Na_2S を含む 5 % NaOH 中 (Na OH 換算濃度で約 10 %) では 423 K 以上である。しかし、304 L の SCC の伝播形態や発生の電気化学的挙動は、NaOH 中のステンレス鋼のそれと概ね一致するので、 Na_2S -NaOH 中の 304 L の SCC は Na_2S の存在によって促進されたアルカリ型の SCC と考えられる。 Na_2S による促進作用は次のように推察される。

自然浸せきで 304 L に生成された皮膜は Na_2S の含有によって膜厚や成分、構造が大きく異なり、見掛けの腐食状況も Na_2S の含有条件の方が顕著であった。また、 Na_2S -NaOH 中でも 373 K では腐食は生じず、SCC も生じなかった。この結果に関し、加藤ら¹⁶⁾ の検討が参考になる。加藤ら¹⁶⁾ は Na_2S や $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ を含む NaOH 中でステンレス鋼-U 曲げ試験片の SCC 発生と腐食量に対する温度の影響を調べ、Fig. 10 に

Figure 10 Effect of temperatures on SCC occurrence and corrosion loss of stainless steels in 5 % NaOH-2 % Na_2S -0.5 % NaCl-2 % Na_2CO_3 -1 % Na_2SO_4 -0.5 % Na_2SO_3 -0.5 % CH_3COOH - H_2O , for 2.4×10^6 seconds.

示す結果を得ている。すなわち、304 L は温度の上昇にともない SCC が発生し、SCC 発生とともに腐食量の増大が生じた。この結果は間接的なものの、 Na_2S の含有条件で SCC が生じる場合には皮膜の乏しい保護性を示唆するものである。

NaOH 中の炭素鋼の腐食挙動に及ぼす硫化物の影響が Wensley ら¹¹⁾ によって検討され、 Na_2S は不動態化電流や不動態保持電流の増大などの腐食促進作用を示すことが明らかにされている。 Na_2S を含む NaOH 中での皮膜生成に関して Tromans¹²⁾ は炭素鋼を用いて検討を行い、活性態／不動態の遷移領域では Fe_3O_4 の一部の O が S と置換した $\text{Fe}_3\text{O}_{4-x}\text{S}_x$ の生成を推察し、 Fe_3O_4 に比べて保護性が劣るとして NaOH 中の耐食性低下の一因に挙げている。304 L に生成した皮膜の構造や保護性などについてさらに詳細な検討が必要であるものの、炭素鋼と同様な S を含有した酸化物の生成が推察される。

Na_2S 含有条件の 304 L の自然電極電位は活性態／不動態遷移領域におさまる SCC を生じるものの、不動態への分極によって SCC 防止が達成可能であった。また、炭素鋼についても Singbeil ら⁹⁾ がアノード防食の効果を確認している。以上の推論から、423 K 以上の Na_2S を含む NaOH 中で 304 L は腐食し、保護性が不十分な皮膜の生成によって、皮膜破壊型の SCC を生じるに至ったと考えられる。したがって、304 L

の耐食性は Na_2S を含む NaOH 中で不十分と思われ、最適な材料の選定には SCC に対する合金成分の影響解明が待たれる。一方で、不動態の電位域に保持するアノード防食が 304 L に対する SCC 発生防止の有効性が示されており、エンジニアリング的な防食の可能性が示唆される。

5. 結 論

Na_2S を含む高温のアルカリ水溶液中で浸せき試験および電気化学測定を行ない、304 L の SCC 挙動について検討した。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 金色がかった黒色皮膜で覆われた試験片には、多くの SCC が生じた。SCC は表面から内部へ分岐しながら伝播し、その経路は結晶粒界と結晶粒内の混合型であった。SCC は 423 K 以上で発生し、 Na_2S の含有が必須であった。
- (2) Na_2S 未含有条件では Fe_3O_4 主体の酸化物が、 Na_2S 含有条件では酸化物のほかに硫化物がそれぞれ確認された。
- (3) SCC を生じた U 曲げ試験片の E_{con} は、活性態と不動態の遷移域にあり、不動態に保持した試験片には SCC は生じなかった。

SCC 挙動の観点からは腐食生成皮膜の詳細を、また SCC 防止の観点からは合金成分の影響をさらに検討する必要があるものの、本検討結果から Na_2S を含む高温のアルカリ水溶液中で 304 L に生じた SCC は、皮膜破壊型の SCC と推察される。

References

- 1) Kajiyama, Y. and Awaya, H., BOSHOKU-GIJUTSU 25, (1976), p. 149.
- 2) Hine, F. and Okubo, M., BOSHOKU-GIJUTSU 25, (1976), p. 509.
- 3) Kurihara, Y. and Hirano, T., Soda to Enso 28, (1977), p. 293.
- 4) Hine, F., Soda to Enso 29, (1978), p. 471.
- 5) Hine, F., Soda to Enso 33, (1982), p. 139.
- 6) Yasuda, M., Soda to Enso 36, (1985), p. 535.
- 7) Audouard, J.P., et al. Third International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry, 1980, (NACE, Houston, TX), p. 30
- 8) Manning, P.E., et al., MP 23, 1 (1984). p. 19.
- 9) Singbeil, D.L. and Garner, A., CORROSION 41, (1985), p. 634.
- 10) Singbeil, D. and Tromans, D., J., Electrochem. Soc 128, (1981), p. 2065.
- 11) Wensley, D.A. and Charlton, R.S., CORROSION 36, (1980), p. 385.
- 12) Tromans D., J. Electrochem. Soc. 127, (1980), p. 1253.
- 13) Yamanaka, K. and Kowaka, M., BOSHOKU-GIJUTSU 32, (1983), p. 23.
- 14) Okada, H., Abe, S., and Murata, T., BOSHOKU-GIJUTSU 24, (1975), p. 471.
- 15) Wilson, I.L., Pement, F.W., and Aspdien, R. G., CORROSION 30, (1974), p. 139.
- 16) Kato, K and Tamada, A, Private communication.