オーステナイト系ステンレス鋼の腐食疲労 に関する研究 (第2報)*

(液温および繰返速度の影響)

木 島 茂**

Investigation on the Corrosion Fatigue of Austenitic Stainless Steels (2nd Report)

(Effects of Acid Temperature and Cyclic Speed)

by

Sigeru KIJIMA

(Sumitomo Chemical Co., Ltd.)

In the present investigation, we have studied on the effects of acid temperature covering 25°C, 50°C, and 75°C at a cyclic speed of 1700 cpm and those of cyclic speed ranging from 100 cpm to 4000 cpm at acid temperature of 25°C on corrosion fatigue of austenitic stainless steel exposed to air-saturated dilute sulfuric acid having transitional characteristics between passivation and activation.

The effect of acid temperature on the endurance property of austenitic stainless steel exposed to air-saturated dilute sulfuric acids in which corrosion resistance was not improved by alloying molybdenum, nearly coincided with what was obtained from a treatment of pure reaction kinetics, as the steel was scarcely passivated by oxygen, dissolved in these acids. Accordingly, logarithm of number of cycles to failure at each corrosion fatigue strength, *i.e.*, logarithm of average velocity of corrosion fatigue failure at each stress level was proportional to the reciprocal of absolute temperature of the acid. Existence of dangerous downward *S-N* curve obtained at 75°C could also be explained by this view of reaction kinetics.

Increase of frequency of cyclic loading for these steels, as would be expected, also increased number of cycles to failure, but did not necessarily decrease time to failure.

In austenitic stainless steel whose corrosion resistance to air-saturated dilute sulfuric acid solution was improved by alloying molybdenum, the effect of acid temperature was much complicated due to its delicate nature of passivation at high temperature that fluctuates depending upon the variety of steels and variation of testing conditions, and its cause could not be explained.

The effect of cyclic speed on these steels, also, was more complicated, and did not follow the general concept in which increased speed increases number of cycles to failure, but decreases time to failure. On this ground it was expected that controlling factor in speed effect was competitive actions between passivation and activation in the course of progressive increase of cyclic speed.

(Received Sep. 1, 1961)

1. 緒 言

溶液の温度を高めると溶存酸素の量を減少し、酸素の拡散層である液膜の厚さを減少することにより、また溶液および液膜の粘度を減少することによって酸素の拡散を容易とし、腐食反応を促進し、電離度を高め、

pH を減少し、腐食生成物の溶解度を増加し、保護性沈殿被膜を多孔質としてその密着性を阻害し、金属表面に発生するガスの逸散を容易とし、不動態皮膜が薄くなり、下部限界電位がより貴となって不動態化を困難とする、などという腐食に対する正と負の効果が入り交じってくるので、腐食疲労へ及ぼす液温の影響も複雑なことが予想される。

* 原稿受付 昭和36年9月1日

** 正員 住友化学工業株式会社

軟鋼の腐食疲労へ及ぼす液温¹⁾の影響は、Gould,²⁾ Finks, および Cornet と Golan などによって研究されているが、液温効果として示されている結果は試験方法によって異なり、研究者によって互に相反した結論も報告されている。オーステナイト系ステンレス鋼の腐食疲労に対する液温の影響は、さらに錯雑なものと予想されるが、液温効果の本質が理解されれば個々の結果にとらわれる必要はなく、また対策に対する方向も定まるものと考えられる。

次に腐食反応は時間に依存する反応であるから、他の条件が変わらなければ、腐食疲労破壊反応も時間に依存するものと考えられるが、その依存の仕方はさまざまであろう。繰返応力と電気化学的ないし化学的反応との共同作用によって腐食疲労破壊反応は進行し、しかもその過程においても経時的に材料の物理的性質も変化するから、全体の反応を速度論的に取り扱うことは、ごく限られた場合を除いて不可能であろう。しかしこの反応系も全体としては自由エネルギーを減少する方向へ変化するから、保護性沈殿被膜あるいは不動態皮膜による機械的ないし化学的な妨害作用が起らないかぎり、繰返速度を増大すれば破断するまでの繰返数を延長し、これを減少すれば破断するまでの繰返数を短縮するものと予想される。

若干の例外はあってもこの点に関する従来の研究は、繰返速度の増加が、破断するまでの繰返数（寿命繰返数）を同時に増加する点で意見が一致している。一方、破断するまでの時間（寿命時間）を基準として考えると、応力を加えない単純な回転腐食も回転数の増加によって増大するのが普通であるから、繰返速度の増加も寿命時間を短縮するのが当然である。この点に関しても^{1)~7)}ば見解が一致している。しかしもし機械的不動態ないし化学的不動態によって金属が保護される場合は、必ずしも繰返速度の増加が、寿命時間を短縮するとは考えられない。

Evans⁸⁾は軟鋼に認められた繰返速度の影響が、上述のような一般的傾向を示す事実から、繰返速度の効果が保護性沈殿被膜の破壊にあることを指摘した。また

Gouch⁷⁾は腐食抑制剤の添加が速度効果に影響しないことから増加する攪拌のため保護被膜の透過性が高まる点に速度効果の根拠があると述べている。

ステンレス鋼の不動態は、溶存酸素の酸化力に依存する場合が多い。希硫酸溶液中のステンレス鋼は、溶存酸素の酸化力によって不動態へ誘致され、鋼表面へ充分の酸素が供給されると不動態化し、酸素の供給が不充分であれば活性化する。ステンレス鋼の不動態に関する研究の多くが、この酸を利用して行なわれているのもこのためである。本研究はオーステナイト系ステンレス鋼を用い、希硫酸溶液中でそれが示す腐食疲労挙動へ及ぼす液温と、繰返速度の影響とを調査し、この面から腐食疲労の本質を探究したものである。

2. 試験方法

(I) 腐食疲労試験

本研究においても試作した縦型繰返回転片持曲げ疲労試験機を用いた。その詳細については第1報で述べたからこれを省略するが、腐食工学的にみて欠陥と認められるこれまでの試験法を、かなり改善した点にこの試験機の特徴がある。ただ今回は繰返速度の影響を調査するため、摩擦円板型の変速機を併用した。

液温の影響は試験機の固有繰返速度（1 700 cpm）の下で、空気を飽和した 25°C、50°C、および 75°C の 5 % H₂SO₄、あるいは 10 % H₂SO₄ 溶液中で求めた。その温度は真空管式温度調節器によって行ない、これによって ±1.5°C の温度調節範囲を得た。繰返速度の影響は空気を飽和した 25°C の 5 % H₂SO₄ 溶液中で、最大繰返速度 4 000 cpm から最小繰返速度 100 cpm の範囲において調査した。

(II) 電位と溶解量の測定

腐食疲労過程にあった一部の試験片について、経時的に電位と溶解量とを測定したが、その測定方法については第1報で説明したので、ここではその説明は省略する。

(III) 供試材料と試験片

Table 1 に掲げた 7 チャージのオーステナイト系ステンレス鋼を試験に供したが、これらのうち S-6X 材

Table 1 Chemical analysis of materials tested (%)

Symbol of materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Remarks
S-6X	0.054	0.62	0.93	0.020	0.016	18.90	12.15	—	—	0.022	Type 304
S-MU	0.030	0.48	1.37	0.024	0.021	17.55	13.15	2.10	—	0.036	Type 316L
S-10	0.056	0.56	1.35	0.027	0.019	18.09	11.30	2.11	—	0.046	Type 316
S-18	0.054	0.98	1.34	0.022	0.019	17.65	10.85	1.16	—	0.029	17-11-1 Mo
S-4	0.078	0.48	1.26	0.024	0.018	17.30	11.86	2.52	—	0.033	Type 316
S-BS	0.032	0.68	1.50	0.020	0.019	18.20	11.80	—	0.23	0.010	Type 321
S-8	0.045	0.57	1.37	0.022	0.017	18.50	11.10	2.11	—	0.032	Type 316

は 304 型 (SUS 27), S-MU 材は 316 L 型 (SUS 33), S-BS 材は 321 型 (SUS 29) に属するステンレス鋼であり, そのほかのものは 316 型 (SUS 32) ステンレス鋼である. ただし S-18 材の Mo 含有量は, 1.16 %で

316 型の規格にはずれていた. これらのうち 液温の影響を求めるため 4 チャージの供試材料を用い, 繰返速度の影響を調査するため 3 チャージの供試材料を用いた.

Table 2 Mechanical properties of materials tested

Symbol of materials	Yield Strength $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Elongation δ (%)	Reduction of area ψ (%)	Brinell hardness H_B	Endurance limit [*] σ_w (kg/mm ²)	Remarks
S-6X	23.7	59.8	68	74	143	22.0	Annealed
S-MU	24.9	58.4	65	72	134	23.0	"
S-10	24.6	58.8	64	72	135	26.0	"
S-18	25.0	58.2	65	73	140	24.5	"
S-4	25.7	63.2	66	72	131	23.0	"
S-BS	25.2	53.6	68	76	124	20.0	"
S-8	23.4	57.8	66	74	140	24.0	"

* Air fatigue limit

S-6 X (Type 304)

S-MU (Type 304 L)

S-10 (Type 316)

S-18 (17-11-1 Mo)

素材はいずれも直径 19 mm の鍛造丸棒を用い、これを 1 050°C~1 100°C で焼なまししてから機械加工し、第1報の Fig. 2 に示した寸法、形状の疲労試験片を造った。その最終仕上げは研摩とし、エメリイ 4/0 研摩紙を用いて、円周方向と直角に仕上げた。

焼なましした素材を別に機械加工して JIS 4 号引張試験片を造り、これを用いて機械試験を行なった結果を Table 2 に示す。ただし表中に示した空気疲労限度は、本試作疲労試験機によって求めたものである。Photo. 1 は用いた各試験片の顕微鏡組織を示すが、S-BS 材 (321 型, SUS 29) には若干のフェライトが含まれている。他のステンレス鋼は近似の結晶粒度をもっているが、非金属介在物の多少ならびに分布はやや異なっている。

(IV) 腐食液

腐食液として用いた 5 % H_2SO_4 および 10 % H_2SO_4 溶液は、化学用 1 級の硫酸と蒸留水とによって調製し

た。液温の影響は 5 % H_2SO_4 および 10 % H_2SO_4 溶液を用いて求め、繰返速度の影響は 25°C の 5 % H_2SO_4 溶液について求めた。

3. 試験結果と考察

(I) 液温の影響

S-6 材 (304 型, SUS 27) を用い 5 % H_2SO_4 および 10 % H_2SO_4 溶液中において、腐食疲労に対する耐久性に及ぼす液温の影響を求めた結果を Fig. 1 および Fig. 2 に示し、5 % H_2SO_4 溶液中における S-18 材 (17-11-1 Mo) の耐久性に及ぼす液温効果を Fig. 3 に示す。いずれも液温が高まるほど時間強度が小さくなり、25°C, 50°C, および 75°C と順当な低下を示している。しかし 5 % H_2SO_4 溶液中で得られた S-N 曲線は、どちらのステンレス鋼も危険な下向曲線を示している。このような下向する S-N 曲線の成因为どこにあるかは、この曲線の存在が真実であるかどうかという点と関連して、調査する価値があると考えられたの

S-4 (Type 316)

S-8 (Type 316)

S-BS (Type 321)

Photo. 1 Microstructures of fatigue specimens (Vilella's reagent : 100× except for S-BS being 500×)

で、液温効果の面からその成因を追求してみた。

平均の腐食疲労破壊速度 V が機械的因子 F_m と、化学的ないし電気化学的因子 F_c との相乗効果によって表わされると仮定し、かつ統計力学的因子を加味すると、 V あるいは腐食疲労寿命（破断するまでの繰返数あるいは破断するまでの時間） L は次式で表わされる。ここに t は時間、 x は t 時間後に生じたき裂の長さを示す。ただしここでは F_m および F_c 以外の因子、たとえば材料の因子その他は一定であると仮定する。

$$dx/dt = V = 1/L = F_m \times F_c \times e^{-Q/RT}$$

化学的因子 F_c は主として腐食反応に参与する物質の

濃度に関係するが、この場合には試験液は一定であるから濃度効果は省略できるものと考えられる。次に一定の繰返応力について考えると、大まかにいって機械的因子 F_m も一定であると仮定してよいであろう。このように仮定すると平均の腐食疲労速度の対数 ($\log V$) は、絶対温度で表わした液温の逆数 ($-1/T$) に比例することとなり、また各時間強度に対する腐食疲労寿命の対数 ($\log L$) も、絶対温度で表わした液温の逆数 ($1/T$) に比例することとなる。この想定に立脚して、各時間強度に対応する腐食疲労寿命と液温との関係を求めると、Fig. 1 から Fig. 4 が、Fig. 3 から Fig. 5

Fig. 1 S-N curves of S-6X (Type 304) stainless steel obtained in 5% H_2SO_4 at different temperature and in air

Fig. 2 S-N curves of S-6X (Type 304) stainless steel obtained in 10% H_2SO_4 at different temperature and in air

Fig. 3 S-N curves of S-18 (17-10-1 Mo) stainless steel obtained in 5% H_2SO_4 at different temperature and in air

Fig. 4 Relationship between fatigue strength at N cycles and acid temperature for S-6X (Type 304) stainless steel in 5% H_2SO_4

Fig. 5 Relationship between fatigue strength at N cycles and acid temperature for S-18 (17-10-1 Mo) stainless steel in 5% H_2SO_4

が得られ、いずれもかなり良好な直線関係を認めることができる。つまり一定応力振幅の繰返応力で破断するまでの繰返数の対数は、絶対温度で表わした液温の逆数に比例する。またこの直線の傾きは腐食疲労破壊反応における活性化エネルギーに対応するものである。しかもこの直線関係は下向曲線部分の時間強度についても成立するから、下向する $S-N$ 曲線の成因も活性化支配の思想から説明される。また図示された直線の傾きから、繰返応力が大きいほど概して活性化エネルギーも大きいことが認められ、腐食疲労反応の進行も容易であると予想される。

各液温におけるこれらのステンレス鋼の耐久性が、想定した速度論的取扱いと合致するのは、これらの鋼が与えられた条件の下でほとんど活性に近い鋼としてふるまい、腐食疲労破壊反応がほぼ活性化によって支配されているためと考えることができる。またその原因は希硫酸溶液に対する耐食性が Mo の添加によって改善されていないためと考えることができる。 $10\% H_2SO_4$ 溶液中における $S-6$ 材 (304 型, SUS 27) には、下向する $S-N$ 曲線が認められなかったが、Fig. 6 に示したように腐食疲労破壊反応を支配している様式は全く同じである。また下向曲線の末端はそのまま下向するものではなく、Fig. 3 に実測されているように、再び折れ曲がるのが真実であろうと考えられる。

また Mo の添加によって耐食性が改善されていないこれらのステンレス鋼は、空気疲労における限界繰返数以下で認められる溶液の冷却効果が、昇温に伴って早急に失われる傾向を示す。つまり液温が高くなると、空気疲労の限界繰返数以下における腐食疲労の時間強度は、空気疲労の時間強度を早急に下回ってくる。

Fig. 7 は $S-MU$ 材 (316 L 型, SUS 33) について、また Fig. 8 は $S-10$ 材 (316 型, SUS 32) について液

温の影響を調査した結果である。 $S-10$ 材に対する液温効果は、 $25^\circ C$ 、 $50^\circ C$ および $75^\circ C$ と順当な変化を示しているが、 $S-MU$ 材の場合には $75^\circ C$ の液温効果が逆に現われ、かえって最も高い耐久性を示している。このように、耐食性が Mo の合金によって改善されているオーステナイト系ステンレス鋼には、しばしば液温効果の逆転が観察されるが、その原因はつまびらかでない。また順当な液温効果を示すステンレス鋼でも、

Fig. 7 $S-N$ curves of $S-MU$ (Type 316L) stainless steel obtained in $5\% H_2SO_4$ at different temperature and in air

Fig. 8 $S-N$ curves of $S-10$ (Type 316) stainless steel obtained in $5\% H_2SO_4$ at different temperature and in air

Fig. 6 Relationship between fatigue strength at N cycles and acid temperature for $S-6X$ (Type 304) stainless steel in $10\% H_2SO_4$

Fig. 9 Observed potential and dissolution of $S-10$ (Type 316) stainless steel in the course of corrosion fatigue while exposing to $5\% H_2SO_4$ at $75^\circ C$. Broken lines indicate dissolution, full lines indicate potential and failure occurred at each end point

各時間強度に対する腐食疲労速度と、絶対温度で表わした液温との間には指数関係が認められない。

Fig. 9 は S-10 材 (316 型, SUS 32) を用い, 75°C の 5% H_2SO_4 溶液中で行なった腐食疲労試験に際して, 測定した時間-電位曲線ならびに時間-溶解量曲線を示す. S-10 材は 316 型ステンレス鋼であるが, 75°C の 5% H_2SO_4 溶液中ではやや活性的に溶解していることが, 電位と溶解量の経時的変動が少ないことから推察される. また破断に際して露出する新しい破面に起因する突発的電位の変動が観測しやすく, さらに寿命末期において溶解量を急速に増すことが認められる。

(II) 繰返速度の影響

Fig. 10 は S-4 材 (316 型, SUS 32) を用い, 空気を飽和した 25°C の 5% H_2SO_4 溶液中において, 腐食疲労に及ぼす繰返速度の影響を求めた結果である. 繰返速度として 100 cpm, 600 cpm, および 1700 cpm を与えたが, この鋼に対する速度効果は順当に示されていない. つまり繰返速度の増加が腐食疲労における寿命繰返数を増加し, 寿命時間を減少するという一般則はあてはまらない. S-8 材 (316 型, SUS 32) を用い, 400 cpm, 1700 cpm, および 4000 cpm というさらに

Fig. 10 Effect of cyclic speed on corrosion fatigue of S-4 (Type 316) stainless steel exposed to air-saturated 5% H_2SO_4 at 25°C

Fig. 11 Effect of cyclic speed on corrosion fatigue of S-8 (Type 316) stainless steel exposed to air-saturated 5% H_2SO_4 at 25°C

広い範囲の繰返速度によって, 速度効果を調査した結果も, Fig. 11 に示すように一般則があてはまらない. これらの結果から, Mo によって耐食性が改善されているこれらのステンレス鋼では, 繰返速度の増加が必ずしも順当に不動態皮膜の破壊を促進したり, あるいは不動態皮膜の透過性を高めるものでないことが示唆される. またこれらの点は, 次の腐食試験結果からも理解されるところである。

Table 1 に掲げた供試材料のうち, Mo を含む 4 チャージの材料を用い, 無負荷状態および 16 kg/mm^2 の応力に相当する繰返荷重を負荷した状態で, 空気飽和の 25°C の 5% H_2SO_4 溶液中において回転腐食試験を行なった. その結果を一括して図示すると Fig. 12 が得られる. 無負荷状態で回転腐食試験を行なうと, 初め回転数の増加につれて腐食度も増すが, ほぼ 300 rpm を越えるとかえって腐食度を減少し, より速い流動によって不動態の確保が容易となることが示されている. 繰返負荷状態で腐食試験を行なうと, 最大腐食度を示す山は 200 cpm 付近に移動し, それを過ぎると無負荷状態のときと同じようにかえって腐食度を減少するが, 1000 cpm 付近から再び腐食度の漸増が認められ, 不動態の維持が弱められることを示している。

上記の試験結果は一つの例にすぎないが, この結果から考えられることは, 繰返速度の変化に応じ溶存酸素の供給が強化されるために生ずる不動態化作用と, 溶液による攪拌摩擦のため生ずる活性化作用とが互に張り合って影響を及ぼしているため, 溶存酸素の総合効果が最も高い状態において, 腐食疲労における耐

Fig. 12 Effect of cyclic or rotating speed on corrosion of Type 316 stainless steels in air-saturated 5% H_2SO_4 at 25°C

久性も最も高いだろうということである。小さい繰返速度を与えた場合は、鋼表面に対する酸素の供給割合が少ないためカソード支配の腐食を受けるが、速い繰返速度によって鋼の表面へ充分に酸素が供給されるようになると、アノード支配の腐食に変わり、さらに高い繰返速度を与えると、溶液による機械的摩擦がアノード支配の下で起こりつつある腐食を促進するものと予想される。

Fig. 13はS-BS材(321型, SUS 29)について、同じように5% H_2SO_4 溶液中の速度効果を求めた結果である。この鋼にはMoが含まれていないため、寿命繰返数に及ぼす速度効果が順当に認められるが、寿命時間へ及ぼす影響は必ずしも予想されるとおりではない。

4. 結 論

各種のオーステナイト系ステンレス鋼を用い、活性化-不動態化の境界の性質をもっている空気飽和の希硫酸溶液を腐食液とし、腐食疲労に対する耐久性に及ぼす液温の影響、ならびに繰返速度の影響について研究した。得られた結論をまとめると次のとおりである。

(1) 希硫酸に対する耐食性がMoの添加によって改善されていないオーステナイト系ステンレス鋼は、溶存酸素の酸化力だけでは不動態化しがたく、ほぼ活性な状態で溶解するため、試験した75°Cまでの液温範囲において、速度論的に導いた想定と一致した液温効果が認められる。つまり各時間強度に対する腐食疲労寿命の対数、あるいは一定応力振幅の繰返応力によって破断するまでの繰返数の対数は、絶対温度で表わした液温の逆数に比例する。また、75°Cの試験で得られた下向するS-N曲線の成因も、この速度論的想定に立脚して説明することができる。さらに腐食疲労反応の活性化エネルギーに対応する直線の傾きは、繰返応力が大きいほどゆるやかである。

(2) 希硫酸に対する耐食性がMoの添加によって改善されているオーステナイト系ステンレス鋼は、溶

存酸素によって不動態化されやすいためか、腐食疲労に対する液温効果は単純でなく、あるものには予想されるような液温効果が認められ、あるものには予想に反する液温効果が認められる。いずれにしてもその液温効果は速度論的想定に合致しない。またその個々の原因は明らかにすることはできなかった。

(3) Moの添加によって耐食性が改善されていないオーステナイト系ステンレス鋼の腐食疲労に及ぼす繰返速度の影響は順当であり、繰返速度の増加によって寿命繰返数(破断するまでの繰返数)は延長されるが、寿命時間(破断するまでの時間)は必ずしも減少するとはかぎらない。

(4) Moの添加によって耐食性が改善されているオーステナイト系ステンレス鋼の腐食疲労に及ぼす繰返速度の影響は、繰返速度の増加が寿命繰返数を増加し、寿命時間は減少するという一般則と合致しない。つまり繰返速度の増加と比例的に不動態皮膜が破壊されたり、不動態皮膜の透過性が高められないから、溶液の攪拌流動に伴って生ずる不動態化作用との複合関係が、速度効果を左右しているものと考えられる。

(5) ごく限られた場合を除いて、腐食疲労に対する液温効果や速度効果を、速度論的に解明しようとする努力はむだである。またこれら効果の現われ方は、試験条件によって著しく左右されるものと考えられる。

この報告を結ぶにあたり、京都大学工学部河本実教授から種々なるご批判を賜りましたことを記して、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) A.J. Gould, Engineering, **141**, 495 (1936)
- 2) C.G. Fink, W.D. Turner and G.T. Paul, Trans. Electrochem. Soc., **83**, 377 (1943)
- 3) I. Cornet and S. Golan, Corrosion, **15**, 262 t (1959)
- 4) H.J. Gough, J. Inst. Metals, **49**, 17 (1932)
- 5) D.J. McAdam, Proc. ASTM, **29** (II), 250 (1929); **39** (II), 411 (1930)
- 6) R.J. McKay and R. Worthington, "Corrosion Resistance of Metals", p. 492 (1936)
- 7) F.N. Speller, I.B. McCorkle and P.F. Mumma, Proc. ASTM, **38** (II), 159 (1928)
- 8) U.R. Evans, in discussion Proc. ASTM, **29** (II), 307 (1929); **39** (II), 445 (1930)
- 9) L.D.G. Berwick and U.R. Evans, J. Appl. Chem., **2**, 576 (1952)
- 10) H.H. Uhlig and A. Geary, J. Electrochem. Soc., **101**, 215 (1954)
- 11) G. Masing, T. Heumann and H. Jesper, Arch. Eisenhüttw., **25**, 169 (1954)
- 12) R. Olivier, CITCE, Proc. 6th Meeting, p. 314 (1954)
- 13) H.J. Rocha and G. Lennartz, Arch. Eisenhüttw., **26**, 117 (1955)
- 14) C. Carius, Arch. Eisenhüttw., **27**, 401 (1956); **29**, 449 (1958)
- 15) G.H. Cartledge, Nature, **177**, 181 (1956)
- 16) C. Edeleanu, J. Iron Steel Inst., **188**, 122 (1958)

Fig. 13 Effect of cyclic speed on corrosion fatigue of S-BS (Type 321) stainless steel exposed to air-saturated 5% H_2SO_4 at 25°C