

Fig. 3. Wave form of transducer out put (a) and its differential wave form (b).

ッドを示す。Fig. 1 にヘッドの断面図を示す。Fig. 2 に検出回路のブロックダイアグラムを示す。

1) 予備実験の結果光電子増倍管の出力は深さ 0.15 mm, 長さ 50 mm の線状キズで約 250mV 得られた。ただし使用光電子増倍管東芝製 MS-9S (陽極感度 95 $\mu\text{A}/\mu\text{lm}$) 供給電圧 1000V, 負荷抵抗 10 Kr, スリット巾 1 mm.

2) スリット巾, 高さおよびスリットと材料の間隔とから視野の巾が決まりその巾を 0.5, 1.0, 1.5 mm になるよう, 3 種類のスリットを試作した。また長さは検出すべき最小の傷の長さから決まり 50 mm とした。

3) ブラックライトの点灯は低周波での点滅をさける必要から 20K C の交流点灯とした。

4) ヘッド内に前置増巾器を置き直結増巾としインピーダンス変換を行ないアウトプットインピーダンス約 100 Ω 以下とした。

5) 信号波形を微分しその高さを選択するか, 原波形の巾を選択しその後高さを選択するかのいずれも可能とした。

6) マークの中央に傷が位置するようにするため, マーク信号の遅延回路を付加し傷が接近してある場合の考慮も払った。

3.2.3 マーキング装置

- 1) 塗料吹付方法
- 2) クレヨンによる打刻方法
- 3) ローラーによる方法

の3つについて検討を行なった結果, 応答, 明瞭度の点において 3) の方式が最も良く, これを実用化した。この方法はインク入れから供給ローラーを介して常にマーキングローラーにインクを補給し, ソレノイドによつてマーキングローラーを駆動する。スリット長さと同様にマーキングローラーの長さを等しくしマーク巾はローラーが材料に接触している時間によつて決まる。

4. 結果および考察

Fig. 3 に試作装置によつて探傷した場合の光電子増倍管の出力信号(a), その微分波形 (b) を示す。傷以外からの信号も全て蛍光によるもので外来の光はそれに比較し無視できる。傷以外からの信号は非常に低い周波数成分を持ち, 微分回路によつて傷信号と弁別できる。深

さ 0.1 mm, 長さ 10 mm の傷信号の波高値が約 300mV も得られ検出回路の S/N 比, 外来の電氣的雑音の影響などの考慮をほとんど必要としない。また増巾, パルス処理回路など電子回路の動作については目的通りの結果が得られることを確認できた。したがつて実用機設計上の問題点はずの3点にしばられる。

- 1) 蛍光磁粉適用に関する精度と信号度
 - 2) 被検査材走査方法の能率化
 - 3) マーキング装置の応答時間の短縮化
- 1) に関しては

a) 蛍光磁粉濃度および種類, 磁粉溶液の使い方, その時間が最も大きな要因であることが判明した。

b) 傷の深さと光電管の出力は深さ 0.4 mm 以下の傷についてはだいたい比例関係にある。

c) シワキズが接近して連続する場合出力パルスの巾が広がり, リミットされることがある。これはスリット巾を狭くし分解能を上げることにより改善できた。

5. 結 言

磁粉探傷あるいは浸透探傷によつて傷に蛍光物質を附着させそれを光学的に検出し電氣量に変換することにより, 自動的に材料の微細な表面傷を検査する方法が現場の苛酷な作業条件を充たし得るか否かを検討するため, 丸棒鋼を対象とした試作研究を行ない, 実用機, 設計上の諸資料を得た。

1) 磁粉の付き方を定量化することが可能になり傷と磁粉の付き方の関係のある程度客観的に把握できる。

2) 磁探と同じ検出感度, 精度で工業的に自動検査が十分可能である。

文 献

- 1) 泉山: 非破壊検査, 12 (1963) 6, p. 273
- 2) W. C. HORMON: Iron & Steel Eng., 41 (1964) 1, p. 91

(156) 蒸気中の水分および固形物の腐食におよぼす影響

(地熱蒸気による主要材料の腐食について—I)

東京芝浦電氣, タービン工場

工博 吉田 宏・金沢 暎・○宮崎松生

The Effects of the Water and Solid Materials in the Steam on Corrosion.

(Corrosion of main materials in geothermal steam—I)

Dr. Hiroshi YOSHIDA, Ei KANAZAWA and Matsuo MIYAZAKI.

1. 結 言

地熱蒸気を利用するいわゆる地熱発電の方式は米国, イタリアをはじめ諸外国ではすでに古くから実施されている。わが国でも松川, 鬼頭などで多量の地熱蒸気が開発され, かかる発電方式が現実の問題として計画実施される段階に至った。地熱発電と従来の火力発電との差異についてはいくつかの点があげられるが, その最も大きな差異の1つはその使用する蒸気に地殻より混入する固

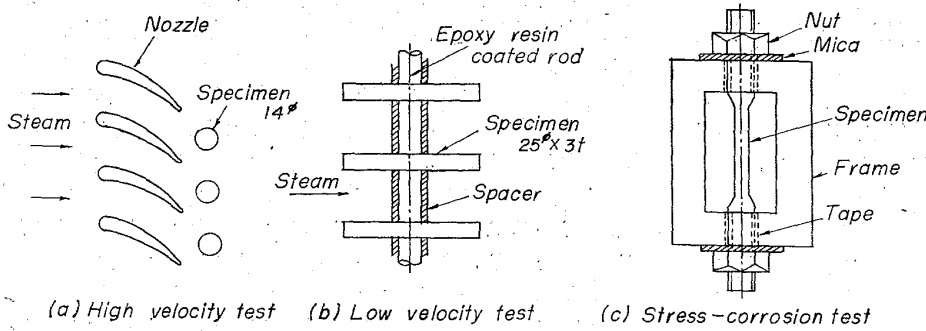


Fig. 1. Experimental apparatus in steam.

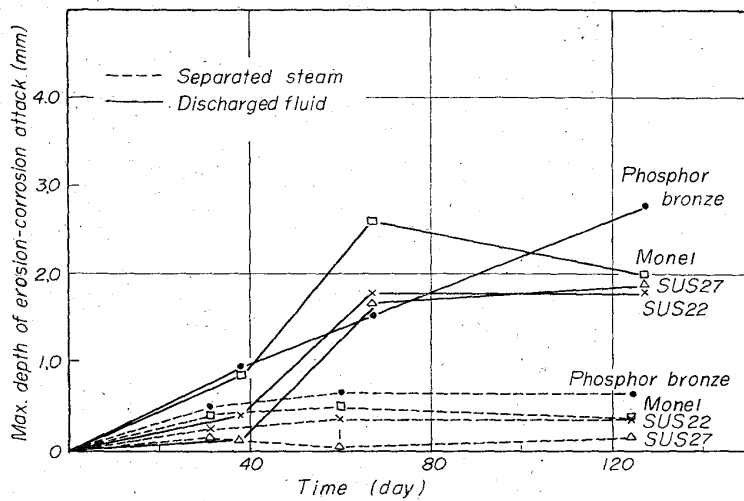


Fig. 2. Erosion-corrosion test results.

Table 1. Applied stresses for stress-corrosion test.

Stress	Alloys
25 kg/mm ²	SUS21, SUS22, Al-12Cr steel
20 kg/mm ²	Cr-Mo-V steel
15 kg/mm ²	SUS27
5 kg/mm ²	Copper, Phosphor bronze, Naval brass, Monel, Aluminium, Anti-corrosion alloy JIS-A2B1 & 5, Titanium, Carbon steel, Cast iron

Table 2. Test conditions.

	Temperature (°C)	Velocity (m/s)	Wetness (%)	Pressure (kg/cm ² ·g)
Steam	①	139	200	30
	②	139	200	3.2
	③	139	10	3.2
	④	139	10	3.2
Condensate	40	0	—	—

①: Discharge fluid, ②: Separated steam, ③: Low velocity separated steam, ④: Stress-corrosion cracking test.

形物を含みまた H₂S, CO₂ など腐食性ガスを溶存し、しかも湿り度が高い蒸気であるということが出来る。したがってかかる蒸気を使用する地熱発電では使用材料の腐食、磨食などについて十分な考慮を払わなければならないことはいうまでもない。筆者らは地熱蒸気がタービン腐食環境の中でその使用材料にどのような影響を与えるかについて実験中であるが、噴気放出蒸気とそれが復水した復水中

での腐食状況などについて、2, 3 の結果を得たのでそれを報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材料

蒸気タービンにおける腐食環境としては蒸気と復水の二つに大別できるので使用環境を勘案して供試材を選定した。

2.2 試験装置

2.2.1 蒸気中の試験

蒸気中の試験としては高速蒸気流と低速蒸気流との腐食の差異、噴気放出のままの蒸気と固形物、水分をセパレータで除去した場合の腐食量の差異を確かめることにした。前者の装置の概略は Fig. 1(a) に示す。すなわち高速蒸気流としては噴気蒸気を蒸気管で導き、実際のタービンのそれと同様ノズルにより流速を高め 200 m/sec の蒸気流中で腐食状況を確かめるものであり、一方低速流試験装置としては放出蒸気を蒸気管に導入し、その中で腐食および応力腐食状況を確かめる装置で蒸気流速としては 10 m/sec である。その試験片の装入方法を Fig. 1(b) と Fig. 1(c) とに示す。応力腐食試験は 4 角形の枠にナットで締めつけ 1 軸の引張応力をかけたもので応力は設計応力を勘案してきめられた。それを Table 1 に示す。固形物、水分を分離する装置としては諸外国で使用されている分離装置で蒸気流を急変する際その遠心力で固形物、水分をふり切り分離するといった簡単なもので湿分で約 1/10 に分離できる能力のものである。この装置を放出蒸気管に接続し湿り蒸気による腐食の影響を確かめた。以上の装置により得られる蒸気条件を Table 2 に、蒸気中のガス組成および復水の組成を Table 3(a), (b) に示す。

Table 3. Composition of steam and water phase.

(a) Composition of steam phase (%)

H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	Rest
99.6	0.327	0.059	0.014

(b) Concentration in water phase (mg/l)

PH	SiO ₂	Fe ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	H ₂ S
4.80	188.5	160.8	5.7	360.0	tr.

2.2.2 復水中の試験

復水中の試験としては放出蒸気を蒸気管で膨張し冷却して復水しそれを長さ 700 mm, 巾 300 mm, 深さ 300 mm の箱形の復水槽中に導きその中に試験片を浸漬する簡単な装置である。復水は水槽より溢出する程度であるのでその流速はほとんど 0 とみなすことができる。

3. 試験結果ならびに考察

3.1 蒸気中の試験

セパレータを設置しない高速蒸気による試験では蒸気中の固形物や水分の影響で Fig. 2 に示すように激しい侵食を生じた。その位置はノズルを通過した蒸気が直接

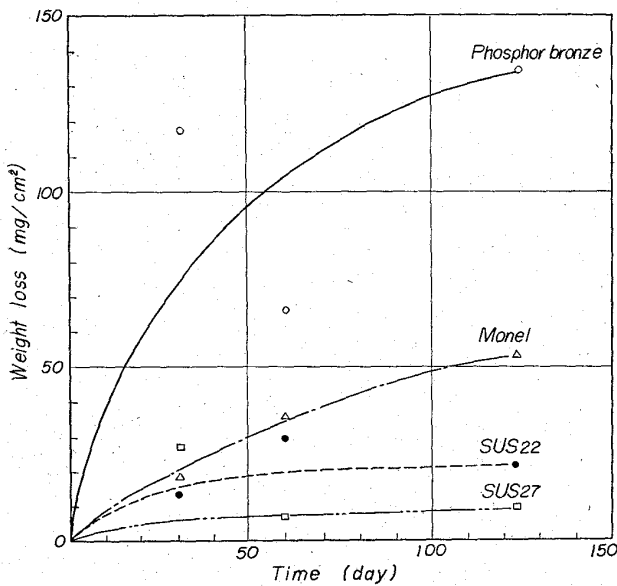


Fig. 3. Weight loss vs. time in a high velocity separated steam.

に試験片に当る面が顕著で腐食よりもエロージョンの影響が大きく試験片のカタサの高いものほど良好であった。

Fig. 2 の中モデルのように時間の増加につれて侵食深さが減少するという結果が現われたものもあるがこれは試験片の装入方法が同種の試験片をはじめに数本とりつけておき各日数について別個の試験片を取り外す方法をとっていることから生じるバラツキが大きく影響しているものである。セパレータを設置して行なつた試験では Fig. 2 に破線で示したように最大侵食深さで約 20% に減少しておりセパレータの効果が明確に現われている。このようにセパレータの装着はこの種の地熱蒸気を利用する場合とくに固形物などが多量の場合は必要な条件である。

Fig. 3 は蒸気をセパレータを通して固形物などの分離を行なつた後の腐食減量の推移を示した。リン青銅には大きなバラツキがみられ、推移傾向も判然としないが計測した 3 つの数値からはおおむね Fig. 3 に示した曲線となるものと推定され、それ以外の材料については試験日数の経過につれて腐食減量はしだいに飽和する傾向が観察される。

その 1 つの理由は表面に生じた酸化物や主として付着したスケールが逆に保護被膜となつて腐食や侵食作用を減少させるものと考えられる。

次に流速をおそくした蒸気に対して円板試験片を用い化学的な腐食を調査する目的で行なつた試験結果を Fig. 4 に示す。速度がおそいので当然エロージョンは生じなかつたが平均腐食速さで各種材料を比較するとチタンや SUS 27 が最もすぐれ SUS 22, アルミニウム, 銅, 軟鋼という順位になつた。しかしその値は軟鋼で 0.6 mm/g, 銅で 0.4 mm/g, アルミニウムや SUS 22 では 0.02 mm/g と微量の腐食量であつた。このように試験片の表面が全面的に平均して腐食

Alloy	Appearance				Stress-corrosion		Size of pits			Average corrosion rates $\times 10^3$ (mm/yr)		
	Lustre	Dis-coloration	Pitting	Crevice corrosion	Micro crack	Macro crack	Dia. (mm)	Depth (mm)	Number/cm ²	200	400	600
Copper	×	×	○	×	○	○						
Phosphor bronze	×	○	△	×	○	○						
Naval brass	×	○	○	○	○	○						
Monel	×	×	○	×	○	○						
Aluminium	○	○	×	○	○	○	1.2	0.40	7			
Anti corrosion aluminium JIS-A2B1	○	○	×	○	○	○	0.35	0.11	8			
Anti corrosion aluminium JIS-A2B5	○	○	×	○	○	○	1.1	0.16	20			
Titanium	○	○	○	○	○	○						
Carbon steel	×	×	○	○	○	○						
Cast iron	×	×	○	○	○	○						
Cr-Mo-V steel	×	×	○	×	○	○						
JIS-SUS21	△	○	×	×	○	○	0.80	0.11	20			
JIS-SUS22	△	○	×	×	○	○	0.68	0.09	50			
Al-12Cr steel	△	○	×	×	○	○	0.55	0.05	70			
JIS-SUS27	○	○	○	○	○	○						

Fig. 4. Corrosion and stress-corrosion test results in a low velocity separated steam, 124 day test.

されるとして計算した値ではアルミニウムや SUS 22 のように孔食を生じるものにはこの点も考慮する必要がある。そこで孔食の大きさと深さおよび個数などを比較するとアルミニウムは SUS 22 に較べて数は少ないが大きくて深い孔食を生じ、これに対し SUS 22 は個数は多いが小さく浅い孔食を生じるので SUS 22 の方が耐食性はすぐれていることがわかる。

さらにアルミニウムと銅との比較をするためにアルミニウムの孔食深さの進行速さと全面腐食を受ける銅の平均腐食速さとをみるとほとんど同じ値を示しているので使用条件に応じて、たとえば他の金属と構造上接触する場合には電気化学的に貴な銅の方が優れている。これまでの試験で耐食性の点で最も優れているのは、チタンと SUS 27 とであつた。

Alloy	Appearance				Average corrosion rate $\times 10^3$ (mm/yr)			
	Lustre	Discoloration	Pitting	Remarks	40	80	120	160
Copper	×	○	○		██████████			
Naval brass	×	○	○		████			
Aluminium	○	○	×		██████████			
Carbon steel	×	×	○		██████████	██████████		
Cast iron	×	×	○		██████████	██████████		
Vinyl coating carbon steel	-	-	-	Vinyl coating destroyed	██████████	██████████		
Epoxy coating carbon steel	-	-	-	Non-destroyed	████			
JIS-SUS22	○	○	×		████			
JIS-SUS32	○	○	×					

Fig. 5. Corrosion test results in condensate, 127 day test.

応力腐食試験結果は Fig. 4 に示してある。Table 1 の設定応力は羽根やロータの設計応力がおよそ 16~18 kg/mm² であることと早く結果を得る目的でそれらに使用する材料については、かなり大きな値が選ばれた。その他の材料は特に大きな応力が作用することもないので 5 kg/mm² の応力で試験を行なった。その結果いずれの供試材も 124 日間の試験まででは肉眼的なワレも顕鏡的なワレも発生しなかつた。

3.2 復水中の試験

Fig. 5 に 127 日間復水中に浸漬しておいた試験片の腐食状況を示した。蒸気中の試験結果と較べると各種材料の耐食性は順位は同じであるが平均腐食速度は全体に復水中の方が少なく、たとえば軟鋼の場合には約 1/5 である。この理由の 1 つは流速の差が影響をおよぼしていると思われ金属表面に生成した酸化物やスケールが復水の場合には流速がおそいので脱落する頻度も少なく腐食減量が少なくなつたものと考えられ、その他温度や水質の影響なども考えなければならない。全面腐食をするものと孔食を生じる材料も蒸気中と同じであるがオーステナイト系の SUS 32 にも、わずかではあるが孔食を生じているので復水の腐食作用も十分な考慮を払う必要がある。

アルミニウムと銅の平均腐食速度は蒸気中ではかなり大きな差異があつたが復水中ではほとんど同じ値を示している。復水の腐食作用が強い場合材料の表面に耐食塗装をすることも考えられるので、この適応性を調査する目的でエポキシ樹脂とビニールとを軟鋼の表面にコーティングして試験を行なった結果、エポキシ樹脂ははく離することもなく良好な耐食性と接着性を示したがビニールは接着性の点で不良であつた。

なお、以上の試験は 1 つの材料を単独に復水中に浸漬して行なつたのであるが、実際のそれは異種金属を接触し使用する組立て方式のため電気化学的な腐食をおこすことが考えられるので、これらについては現在試験を継続中である。

4. 総 括

4.1 蒸気中の試験

(1) 地熱蒸気では蒸気中の固形物や水分によつてエロージョンを生じる。したがつてセパレータでこれらを除去しなければその条件によつては想定外に大きいエロ

ージョンを生じることが考えられる。

(2) アルミニウムおよびその合金ならびに 13Cr 鋼は孔食が生じ、その他の材料は全面腐食を受けるが平均の腐食速度はそれほど大きくはない。

(3) 孔食の形状からアルミニウムと SUS 22 とを較べると前者は数は少ないが大きくて深い孔食を生じ、後者は個数こそ多いが小さく浅い孔食である。

(4) SUS 27 とチタンとはほとんど完全な耐食性を示した。

(5) 応力腐食ワレは認められなかつた。

4.2 復水中の試験

(1) 蒸気中に較べると復水中の方が一般に腐食減量が少ない。

(2) アルミニウムと銅とは蒸気中とは異なりそれほど大きな差がない。

文 献

- 1) T. MARSHALL & A. J. HUGILL: Corrosion, 13 (1959), p. 59
- 2) 金属防蝕技術便覧

(157) ポテンシオスタットによる孔食抵抗の評価

(ステンレス鋼の孔食の研究—Ⅲ)

防衛庁 ○安 達 豊

Evaluation of Pitting Resistance of Stainless Steel by Potentiostat.

(Study of pitting corrosion on stainless steel—Ⅲ)

Yutaka ADACHI.

1. 緒 言

孔食は塩素イオンおよび他のハロゲンイオンを含む水溶液で発生し、ステンレス鋼の表面状態および熱処理などにより促進されたり、抑制されたりする。

ステンレス鋼の孔食抵抗を評価する方法には塩化第 2 鉄塩酸溶液に浸漬する方法とストライヘル試験法のように電解を行なうものに大別できる。筆者らはストライヘル試験装置を用いて孔食発生による電圧の急激な降下によりステンレス鋼の孔食抵抗の評価を試みたが、発生した孔食の形態が浸漬法と異なることがわかつた。

近年ステンレス鋼の孔食抵抗の評価などに電気化学的な方法を用いた報告^{1)~4)}が多い。

本研究においてはポテンシオスタットを用いて各種表面状態および熱処理による孔食抵抗への影響の評価を行なつた結果について報告する。

2. 供 試 材

実験に用いた供試材はステンレス鋼 6 種類、ハステロイ合金 3 種類、Ni-Mo 合金 (ナイオネル) の計 10 種類でこれらの化学成分を Table 1 に示す。

3. 実 験 方 法

3 mm 厚の 1m×2m の板材より 30×30 mm の大き