アルミニウム製冷却塔の腐蝕とその防止

訳 者 大 塚 陸 郎*

Corrosion and its Control in Aluminum Cooling Towers

Sidney Sussman & J. R. Akers

Corrosion, 10, No. 5, 151~159 (1954) May

air conditioning の需要が急速に増大したことにより、アルミニウムの利用価値の増加と相まって、コンサルティングエンジニアや装置製造業者達は、蒸化器冷却装置の建造用にアルミニウムを使用することを思いついた。

アルミニウム及びその合金は冷却塔の建造用に多くの利点を持っている。製造業者達はアルミニウムが加工容易で生産コストの減ることに関心を持っている。古い建造物に air conditioning を設備する問題に直面しているコンサルティングエンジニアは、アルミニウムは目方が軽く、そのためしばしばより重い材料製のものでは積載できない屋上にも冷却塔を建設できることに関心をよせている。また購買者はアルミニウムが多くの曝露条件に大きな耐蝕性を示すため、維持費が減少することを喜んでいる。

アルミニウムを絶えずあるいは間歇的に水と接触した状態に実用する前に、他の構造材料と同様、アルミニウムも現実的に評価しなければならない。

アルミニウム及びその合金は多くの種類の給水にかなりの耐蝕性を有しているが、失敗の危険が相当にある場所もある。それは水自体がアルミニウムに有害なのではなくて、水が銅、錫、ニッケル、鉄等の重金属塩を含んでいるからである。このような水はアルミニウムに対し非常に顕著な腐蝕、孔蝕効果を有しており、とくに周到かつ頻繁にアルミニウムを掃除できないものにはなはだしい。

アルミニウムに対し腐蝕性でない水を給水している団体においても、蒸化器冷却装置に循環する際、腐蝕の結果このような重金属が水が拾うことがある。

air conditioning の設置計画においては、事前に給水及びその供給条件を分析し現実的に評価することが重要である。系内で起る反応を充分に知っておけば、健全な給水処理あ

るいは他の防御方法を早く確立することができよう。また腐蝕条件を予測することは大部分の侵蝕を阻止または大いに軽減せしめるであろう。

蒸化器冷却装置内の給水状態

米国各地の大部分の水は、冷却塔作業で行われる循環水の蒸発によって鱗石を形成し、この鱗石が金属表面の腐蝕を保護する傾向を持っている。また同時に冷却水の代表的なものは、冷却塔に循環せしめた時に 8.0~8.3 の平衡 pH 値になる傾向がある。しかしそのような環境下においてさえ腐蝕を多少起し、その結果循環水は銅、鉄あるいは他の金属を少量含むようになる。

公共その他の水道水が全く軟質であり、アルカリ性も弱く、かつ溶解物質の全濃度も低いニューイングランド、大西洋岸中部各州、南部アラバチャ地区、太平洋岸北西部及びその他のある地域の水でもとくにひどい腐蝕を起し得る。工業或いは都市の発展にともなって空気の汚染が見られる地域の化学処理水を用いている所ではどこでも、冷却塔及びそれと同種の装置の故障は主に腐蝕の問題である。逆流気流中に冷却水を噴霧することは、蒸化器冷却装置を汚染空気中から酸の蒸気を除去するよい洗滌器として作用せしめることになる。循環水は事実上緩衝力あるいは酸中和力を持たないので、(たとえばニューヨーク市のごとき地区においては) 循環水は中和剤を添加しな

第 1 表** ニューヨーク市における無処理循環冷却水の代表的分析例

場 所	pH	M. O. ¹ Alk.	FMA ¹	TH ¹	Cl	SO ₄	Fe	Cu
Times Square	3.3	0	35	136	18	140	12	21
Downtown West Side	6.1	9	0	368	43	—	1.7	1
Midtown East Side	3.4	0	33	640	94	900	7.1	0.7
Midtown West Side	3.9	0	82	644	55	700	9.5	0.2
Penn. Station	4.1	0	8	280	33	—	2	26
Park Plaza	4.2	0	15	228	26	240	4.2	0
Brooklyn, downtown	5.3	33	0	278	—	—	18	2.2
Brooklyn, Ft. Hamilton	4.1	0	12	570	32	915	52	93
Queens, Astoria	4.1	0	26	1000	57	770	3.6	0
Queens, Long Island City	3.2	0	44	680	72	520	33	2.6

** 著作権所有者、American Chemical Society の許可を得て参考文献 1 より轉載。

¹ M. O. Alk. メチルオレンジ、アルカリ性度、FMA—遊離塩酸度、TH—全硬度。濃度の単位は ppm、アルカリ性度、酸性度及び全硬度は CaCO₃ としての値。

ければ、炭酸ガス及び亜硫酸ガスを吸収して第1表に示すごとく強酸性となる。

第1表に示すもの程度に低い pH 値の水は、もちろんアルミニウムを含む大部分の金属を侵し、循環水中に重金属が溶け込むことによって腐蝕は一層ひどくなる。一般に air conditioning 系は大部分配管には鉄が、また冷却コンデンサーには銅合金が使用されている。これらの金属はすでに研究¹⁾されているように酸性の水に侵され、その結果溶解した重金属は循環系中のアルミニウムと接触してひどい孔蝕をアルミニウムに起す。

第1図 アルミニウム製エリミネーター板の断面。ニューヨーク市で半年使用に供したものの。

このような一例が第1図に示されている。これはニューヨーク市のある空気洗滌器にわずか半年使用されていたアルミニウム製のエリミネーター板の断面で、広範囲の孔蝕がレースのカーテン状に起きている。腐蝕部分には水が蒸発して溶解していた塩類が残っているが、それには多量の鉄及び銅が含まれている。

硬水地区においてさえ、ゼオライト (zeolite) 軟化処理した水は冷却塔或は蒸発器コンデンサーで濃縮した時には、アルカリ性が強くなってアルミニウムの腐蝕を充分起す。北部ニュージャージーのある川体では軟化処理した水でアルミニウム製の冷却塔が腐蝕した。循環水を分析して見ると pH が 9.2 に上昇しており、処理水ははじめアルミニウムを含んでいなかったにもかかわらず 6 ppm 存在することが示された。

循環水中に溶解した不純物の他に、水中に浮遊した泥土も蒸発器冷却装置の腐蝕に大きな影響がある。都市及び工業地帯ではかなりの量の土埃が空気によって運ばれて来る。この土埃は冷却塔及び蒸発器コンデンサー中の

循環水によって空気中から洗い落される。水中のこの泥土は水の流速のもっとも遅い凹所 (pan or basin) にたまる傾向をはっきりと持っている。pan にはしばしば $1/2 \sim 1$ in. 厚の堆積層が形成される。

そのような泥土層内は水の循環が非常に少ない。たとえ循環水に防蝕のための化学処理をほどこしても、厚い堆積層の下に金属に接触している水は、そのインヒビターを直ぐに使い果たし、もはや金属を保護できなくなる。そこで濃淡電池の理想的な条件となり、その結果局部腐蝕して孔蝕を起す。冷却塔の pan はこの孔蝕を防ぐために塗装しなければならない。金属製冷却塔はむらなく塗装してこの堆積層下の腐蝕を防止する。ニューヨーク地区のアルミニウム製の無塗装の pan はこの種の腐蝕を起した。孔蝕は同一装置の水中に漬った pan の水平面上には起るが垂直面上には起らないことが観測できるので、その原因は明瞭である。

季節的な作業休止のために冷却塔の水を流出した時、その後までこの泥土層を塔内に残して置くと、これはまた腐蝕の大きな原因となる。このような一例には単にオーバーフローパイプを締めないで給水口を止めて置いたで冷却塔を“winterize”せしめた例がある。水が流出した時、 $3/4$ in. 厚の堆積層が pan の底にあったが、これは数週間乾かなかった。後に検査した時、黒い泥土層の上に白い小瘤状の突起が無数散乱していた。泥土を剥ぎ取ると各小瘤状突起の下に孔蝕が起っていた。

無処理の給水中における腐蝕試験

アルミニウムを冷却塔の建造に使用する要求の増大並びに蒸発器冷却装置内の循環水の腐蝕性を抑制することの重要性にかんがみ、Reynolds Metals Company と Water Service Laboratories Inc. の技師達は 1952 年の夏共同研究を行なった。研究の目的は、無処理及び化学処理された両方の水について、蒸発器冷却装置建造用に使用し得るアルミニウム合金の撰擇のための循環水の影響の評価であった。6 種の異なった組成のアルミニウム及びその合金からなる試料は、互いに、また支持ボルト及び構造物から注意深くはなして、ニューヨークのメトロポリタン地区、フィラデルフィア及びワシントンにある 40 の冷却塔内の水盤の水中に漬した。これらは鋼製或は鋼とアスベストセメント製の普通の冷却塔で、大部分は銅あるいは銅合金製の冷却コンデンサーと鉄管でつながっている。

第2図に代表的な試料群を示す。試料上への泥土堆積の影響を最少にするため、これらの試料群は各試片が垂直になるように水中に吊るし、泥土は試片の縁の非常にわずかな面積にしか堆積しないようにした。この試験に用いた合金の種類とその化学組成は第2表に総括して示される。第3表には試験を行なった給水の代表的化学組

第2図 代表的試料群(No. 20)。各試片をおたがいにまた支持ボルトから絶縁する爲に使用してあるゴム製の索環に注意のこと。この試料群はワシントンのクロム酸処理した冷却塔で、78日間試験したものである。

第2表 試験した合金の組成

(数値はすべて%。記入してない残りの組成は Al 及びそれに一般に含まれている不純物である。)

合金の種類	Al	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
61S	—	0.6	0.25	—	1.0	0.25	—
Alclad 4S (Core) (Clad*)	—	—	—	1.2	1.0	—	—
99.87% 純度	99.87	—	—	—	—	—	—
2S	99.45	—	—	—	—	—	—
3S	—	—	—	1.2	—	—	—

* 被せ金した合金は 72S。

第3表 試験した団体の化学処理した水の代表的組成

成分	としての ppm	ニューヨーク	フィラデルフィア	ワシントン
全硬度	CaCO ₃	22	127	124
Ca	CaCO ₃	15	79	81
Mg	CaCO ₃	7	48	43
アルカリ性度, メチルオレンジ	CaCO ₃	11	29	79
アルカリ性度, フェノールフタレン	CaCO ₃	0	0	0
炭酸ガス	CO ₂	3	6	4
塩化物	Cl	2	11	10
硫酸塩	SO ₄	11	102	45
珪酸	SiO ₂	3.5	7.5	5.5
pH		7.0	7.0	7.6

第3図 ニューヨーク市の冷却塔で未処理循環水中に82日間浸漬した試料群 (No. 39)。腐蝕生成物に注意のこと。

第4表 未処理水中における腐蝕*

都 市 名	試料番号 試験日数			合 金 の 種 類					
				61S-T6	Alclad 4S-O	99.87	2S-H 14	3S-H 14	3S-H 18
New York	66	26	MDD mils	7.0 3.9	6.8 2.0	4.5 19.7	6.98 6.0	5.62 7.9	5.62 6.0
New York	69 ¹	60	MDD mils	0.31 0	1.31 4.0	0.66 19.7	0.31 0	0.91 11.7	1.20 7.8
New York	79	60	MDD mils	1.24 6.0	1.31 2.9	0.66 13.2	1.22 4.0	1.22 7.8	0.61 7.8
New York	80	60	MDD mils	3.34 20.6	1.31 4.9	3.94 25.6	4.87 15.7	3.0 11.8	3.0 9.8
New York	27	55	MDD mils	12.25 10.8	13.59 4.9	14.6 27.5	14.9 17.7	11.3 17.8	11.3 9.9
New York	39	82	MDD mils	6.68 11.8	5.25 4.0	6.48 25.5	7.77 7.9	5.55 8.9	5.55 11.8
New York	33	66	MDD mils	38.8 17.8	33.6 2.0	36.8 25.4	40.5 13.8	32.1 9.9	29.1 9.9
White Plains, N. Y.	75	66	MDD mils	6.05 17.7	7.45 4.0	3.60 29.6	4.98 15.9	5.80 13.8	6.05 6
New Rochelle, N. Y.	63	66	MDD mils	3.32 9.9	4.25 4.9	2.08 31.4	0.56 0	3.02 11.8	3.68 12.8
Philadelphia	43	98	MDD mils	2.96 10.0	3.18 6.0	2.58 27.4	2.80 19.7	2.42 17.7	2.48 10.0
Philadelphia	47	97	MDD mils	1.14 35.4	1.01 3.9	2.02 27.6	2.06 13.8	0.94 13.8	2.02 19.7
Philadelphia	64	84	MDD mils	9.80 35.4	7.90 3.9	6.55 49.0	8.45 31.6	6.95 31.6	9.95 13.7
Philadelphia	87	52	MDD mils	4.5 5.9	2.54 5.9	1.87 13.8	3.52 11.8	3.25 13.8	4.23 9.9
Washington	56	78	MDD mils	7.95 7.9	10.1 4.0	6.01 25.6	9.7 13.8	8.45 15.7	8.2 4.9

* MDD=平均腐蝕速度。1MDD=0.000528 (アルミニウムの時)。mils=最大孔蝕深さ。1. 新しい冷却塔, 亜鉛。

成を示す。これらの水は冷却塔用に処理されたもので、もちろん冷却塔の操業中濃縮、腐蝕、酸の蒸気を吸収する等、その他の諸因子によって変化する。

ニューヨーク市, White Plains, N. Y., New Rochelle, N. Y., フィラデルフィア及びワシントンの末処理循環冷却水に曝らした試料群はすべて腐蝕した。第3図はニューヨーク市の冷却塔から取出した試料群の写真で、これの腐蝕生成物を除去した後の各試験片が第4図(省略, 訳者)に示される。このような場合には腐蝕はすべて孔蝕の形で起り、そのため実際の装置では、損害は全腐蝕減量が示すよりもさらにずっと大きなものであろう。第5図(省略, 訳者)にはニューヨークで26日間試験した試料群を示すが、これを見れば末処理給水冷却塔ではいかに急速に腐蝕するかが判る。第6図(省略, 訳者)は White Plains, N. Y. で行なった試料群を示し、第7, 8図(省略, 訳者)はフィラデルフィアの冷却塔の試料の腐蝕生成物の除去前と後の写真である。

末処理給水冷却塔で試験したアルミニウム試験片のデータを第4表に一括した。平均腐蝕速度は $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ (MDD) の単位で示してある。in/year (ipy) の単位で示すとアルミニウムの場合 $1 \text{ M. D. D.} = 0.000528 \text{ ipy}$ である。また各試験片について測定した孔蝕の最大深さは mils (1 mil = 0.001 in.) の単位で示してある。

一つの興味ある事実を見出した。それは鋼の試験片の腐蝕の研究においても同様な現象が観測されているが、

水に溶解した亜鉛がアルミニウムの腐蝕を抑制する作用をはっきりと持っていることである。亜鉛鍍金してある鋼の側板とか、表面に亜鉛鍍金した鉄管を使用してある新らしい冷却塔から取り出した試験片は限られた数しか孔蝕を起しておらず、金属の表面は普通と違った暗灰色或いは黒色の薄い固着性の被膜で覆われていた。このような冷却塔の水を分析して見ると亜鉛がかなりの量存在することが明らかとなった。同様な条件下の鋼の試験片についての経験から、著者はこの抑制作用が構造物から亜鉛鍍金の大部分が移動し去るまでの2, 3カ月は続き、その後はアルミニウムが陽極として働き、同一条件下の古い冷却塔の場合と同程度の速さで腐蝕するであろうと予想する。

化学処理した給水中における腐蝕試験

循環冷却水の処理には各種のインヒビターを使用し、その適用方法もいろいろと変えた。ある実験者は一交代(shift)に一回あるいは一日一回化学処理剤を添加し、あるものは化学処理剤を絶えず添加し、また或るものは必要と思われる時にのみ添加した。著者等の経験ではインヒビターを絶えず満足すべき濃度に維持することは、インヒビターの種類を選擇することと同様重要である。

腐蝕を抑制する処理のほどこされた水のアルミニウムに及ぼす影響を試験するのに使用した冷却塔の中には、処理が建設作業の職員によってなされたものや、また Water Service Laboratories Inc. によって処理されたも

第5表 クロム酸処理した水中における腐蝕

都 市 名	試料番号	試験日数		合 金 の 種 類					
				6IS-T6	Alclad 4S-O	99.87	2S-H 14	3S-H 14	3S-H 18
New York	85	60	MDD mils	0.31 0	0.33 0	0.33 0	0.31 0	0.31 0	0 0
New York	17	41	MDD mils	0 0	0.48 0	0.48 0	0 0	0 0	0.45 0
New York	6	93	MDD mils	0.39 0	0.21 0	0.21 0	0.20 0	0.20 0	0 0
Philadelphia	45	103	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Philadelphia	68	46	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Philadelphia	81	71	MDD mils	0.26 6.0	0.56 3.0	0.82 0	0.51 0	0.51 3.9	0.13 2.0
Philadelphia	83	103	MDD mils	0.18 0	0.19 0	0 1.0	0 0	0.18 0	0 0
Philadelphia	88	103	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Philadelphia	93	78	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Philadelphia	99*	65	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Philadelphia	41*	65	MDD mils	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Washington	20	78	MDD mils	0.23 0	0 0	0.25 0	0 0	0.45 0	0.45 0
Washington	30	78	MDD mils	0.23 0	0.25 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Washington	54	58	MDD mils	0 0	0 0	0.34 0	0.32 0	0 0	0 0

* 給水が Water Service Laboratories で化学処理されたものでない。

のを含んでいる。建設職員によって扱われた冷却塔では種々のインヒビターを使用し、種々な添加方法で処理した。Water Service Laboratories Inc. で処理した給水を使用した冷却塔はすべて、Continuous Proportioning feeder (第9図)(省略、訳者)を使用し、循環水は周期的実験室試験によって制御した。

これらの後者の装置は pH 制御と金属の防蝕のためにクロム酸塩を用いている。常例にならってクロム酸ソーダの濃度を 200~500 ppm に保つと共に、pH 値を 7.0~8.5 に維持した。このような条件下での試験結果が第5表に総括されている。

クロム酸塩処理した水ではどれも無視できる程度にしか腐蝕しなかった。このような水から取り出した試料は大部分まだもとの光沢を呈していた*。ワシントンで試験した第2図の試料、フィラデルフィアで試験した第10、11図(第10図は省略、訳者)の試料、及びニューヨークで試験した第12図(省略、訳者)の試料を見ればそれが判る。著者はクロム酸塩処理した水から取り出したアルミニウム試料を、ここに報告されている他の場所から取り出した試料と比較した時程の顕著な違いを、現場の腐蝕実験で今までにほとんど見たことがない。

第11図 フィラデルフィアのクロム酸塩処理した循環水中に103日間浸漬した試料群(No.88)。支持ボルトをはずして各試片をばらばらにしてある。

第5表に記されているフィラデルフィアの二つの場所の冷却塔は Water Service Laboratories Inc. で処理された給水でないことは興味深い。しかしこれらの冷却塔で周期的に集めた水の試料を分析して見ると、クロム酸塩処理が絶えず行なわれており、適切な濃度に保たれていることが示された。

装置の同じ場所で同一期間試験した軟鋼と数種のアルミニウム合金の平均侵蝕深さ(in/year)の比較が第6表に示される。クロム酸塩処理水及び未処理水のどちらにおいても、ほとんど常に鋼の方がアルミニウムよりも腐蝕が大きかった。しかしこれ等のデータから結論を引き

* これにはクロム酸塩処理したニューヨークの冷却塔で321日間試験した試料群を含む。

第6表 同一試験条件下でのアルミニウムと鋼の平均侵蝕速度の比較

処 理	試験 日数	平均侵蝕速度 (in/yr)					
		Steel T6	61S-Alclad 4S-O	99.87	2S-H 14	3S-H 14	3S-H 18
無 処 理	55	0.0085	0.0065	0.0072	0.0077	0.0079	0.0060
無 処 理	82	0.0117	0.0035	0.0028	0.0034	0.0041	0.0029
無 処 理	60	0.0053	0.0007	0.0007	0.0003	0.0006	0.0003
無 処 理	84	0.0113	0.0052	0.0042	0.0035	0.0045	0.0037
無 処 理	78	0.0050	0.0042	0.0053	0.0032	0.0051	0.0045
クロム酸処理	93	0.0010	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0
クロム酸処理	60	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0
クロム酸処理	78	0.0003	0	0	0	0	0
クロム酸処理	58	0.0009	0	0.0002	0.0002	0	0

出す際には用心しなければならない。何故ならば多くの場合アルミニウムの孔蝕の方が鋼のよりも孔が互に接近しており深さも深いので、未処理水では前者(アルミニウム)の方が早く漏れ口があくであろう。

ヘキサメタ磷酸ナトリウム(NaPO_3)等の多磷酸塩はスケール防止と同様、腐蝕抑制にもしばしば使用される。多磷酸塩処理された多くの冷却塔内に装置された試験片の防蝕効果の度合は広範囲の変化を示した。その腐蝕の

第7表 多磷酸塩処理した水中における腐蝕データは第7表に総括されている。多磷酸塩処理した給

都 市 名	試料 試験 番号 日数		合 金 の 種 類					
			61S- T6	Alclad 4S-O	99.87	2S- H14	3S- H14	3S- H18
New York	2 41	MDD mils	0.89 2.0	0.48 4.0	0.48 0	0.45 0	0.45 0	0.45 0
New York	15 93	MDD mils	6.45 24.0	6.75 3	4.90 21.6	5.90 21.6	5.35 13.8	5.25 13.7
Philadelphia	94 77	MDD mils	10.7 28.6	12.0 4.0	10.75 25.6	10.75 13.8	10.2 30.6	11.1 15.7
Washington	1 52	MDD mils	3.38 19.7	2.64 5.9	6.0 39.4	1.94 19.7	1.76 13.8	2.8 9.9
Washington	12 78	MDD mils	0.23 0	0.25 0	0.25 0	0	0.23 0	0
Washington	65 78	MDD mils	1.17 19.6	2.25 5.0	0.75 7.9	1.64 3.9	0.94 8.8	0.94 3.9

第16図 ニューヨーク市で多磷酸塩処理した循環水中に93日間浸漬した試料群(No.15)

水の冷却塔から取り出した試料は第13図(ワシントン)(省略、訳者)第14, 15図(フィラデルフィア, 腐蝕生成物除去前と後), (省略、訳者)及び第16, 17図(ニューヨーク, 腐蝕生成物除去前と後), (第17図は省略、訳者)に示される。これらの試験場所から採取した水の試料を分析して見ると, 化学処理剤が不均一であることが示された。それ故適切な腐蝕抑制効果を得ることに失敗したのは, 化学処理剤の適用方法が適当でなかったためか, あるいは多磷酸塩にアルミニウムを保護する能力がないことを示すものかを判定することは困難である。

多数の有機物質が腐蝕及びスケール形成の両方の抑制剤として循環冷却水装置の使用者に提示されている。ニューヨーク及びフィラデルフィア地区で広く腐蝕抑制剤として提示されているタンニンエキスを処理した二つの冷却塔で試験したアルミニウムの試験片の結果が第8表に総括してある。得られたデータは保護能力が弱いことを示している。第18図にはニューヨークで試験した試料群が示されている。

第8表 有機物処理した水中における腐蝕

都市名	試料番号	試験日数	合金の種類					
			61S—T6	Alclad 4S—O	99.87	2S—H14	3S—H14	3S—H18
New York	4	126 MDD mills	1.59	1.55	1.09	1.16	1.31	1.16
			13.8	4.0	17.8	21.6	17.7	11.7
New York	18	37 MDD mills	1.97	3.70	2.12	1.92	1.92	2.46
			11.8	4.0	17.7	6.0	17.7	11.8

第18図 ニューヨーク市で有機物処理した循環水中に126日間浸漬した試料群(No. 4)。

珪酸塩もまた腐蝕抑制剤として使用される。アルカリの珪酸塩で処理した二つの冷却塔で試験したアルミニウムの試験片は孔蝕を起したが, 試験数が少ないのでこの抑制剤のアルミニウムに対する効果の現実的な評価はできない。

耐蝕性の比較を容易にするため, 各条件下の各合金に腐蝕の程度を示す番号をつけた。この番号は最大侵蝕深さに関係している。そのデータが第9表である。腐蝕

第9表 試料の孔蝕に対する比較耐蝕度

(最低値が孔蝕のもつとも少ないことを示す。)

水処理剤	61S—T6	Alclad 4S—O	99.87	3S—H 14	3S—H 14	3S—H 18
無処理	5	1	6	3	4	2
クロム酸塩	6	4	1	1	4	3
多磷酸塩	5	1	6	3	4	?
有機物	3	1	6	4	5	2
珪酸塩	3	1	6	4	5	2
平均	4	1	6	3	5	2

度 No. 1 は合金がその条件下で全侵蝕深さがもっとも少ないことを示している。クロム酸塩処理した水に対する各合金間の腐蝕度番号の関係は大いに無意味である。何故ならば孔蝕の深さの値が余りにも小さく, かつ, ばらばらなっているために意味を持たないからである。それ故腐蝕度の平均を出す際にこれらのデータは除外した。

クロム酸塩処理を除き, 他の条件下ではすべて Alclad の試料が予期し得るようにもっとも耐蝕性が良かった。腐蝕度 No. 2 に一定している 3HS 18 合金も注目に値する。恐らく Alclad 3S あるいは Alclad 4S は循環水と接触する冷却塔表面の構成材料として非常に望ましいものとなるだろう。またその選択は要求される物理的性質によるだろう。

注意すべき点

この実験結果から, アルミニウムを蒸気器冷却装置の構成に使用する上に, 次の三つの因子がもっとも重要であることは明白である。

第1 装置の各要素には各々適切な合金を選択しなければならない。また健全な設計原理によって, 腐蝕を助長する傾向のある情勢は極力避けるべきである。上述せるごとく本腐蝕試験の結果から見て, Alclad 3S 及び Alclad 4S は水と接触して使用するのに実用的に適しているように思われる。異種金属間の接触は避けなければならない。構造の誤謬もまた腐蝕を助長し得る。ある例ではアルミニウム製の冷却塔の pan はむしろ軽規格の金属で, 構造支持には充分でなかった。また pan がたんで最低水位まで排水できなかった。操業中泥土は凹みに堆積し, pan を排水した際その背後に水が残った。これらの因子はともに低い部分に急速な局部腐蝕を起させる原因となった。

第2 装置は適切に維持しなければならない。構成材料としてアルミニウムを使用している装置は, これを常に綺麗に掃除して置くことがとくに重要である。アルミニウムが他の金属, ことに銅と接触することは避けなければならない。pan は浮遊金属あるいは木片がアルミニウムと接触していないかどうかを常に検査すべきである。これらはともにひどい局部腐蝕を助長し得る。

(28頁へつづく)

Fig. 13—The micrograph of (T-3) after corroding for 72hrs. ($\times 250$)

おわりに本実験に御協力下さった三井船舶上野正晴氏(当時東京商船大学海務学院学生)および分析について種々御便宜願った当教室吾妻研究室亀谷博氏に深甚の感謝を表します。

6. 参考文献

- (1) G.T. Colegate; Metal Ind., 73, 1948
- (2) E.B. Sandell; Colorimetric Determination on Traces

Fig. 14—The micrograph of (N-9) after corroding for 72 hrs. ($\times 250$)

- of Metals, 2nd Edition, 1950
- (3) Corrosion of Metals; Am. Soc. for Metals, 1946
- (4) J.N. Friend; J. of Inst. of Metals. 39, 1928
- (5) McKay, Corrosion Resistance of Metals and Alloys, 1936
- (6) 金属防蝕技術総覧; 日本学術振興会, 213, 1952
- (7) 金田義夫, 推進器用マンガン黄銅の研究, 20 1952
- (8) 福山, 植田; 学振小推進器材料総合研究会資料, No. 46, 51

(23頁よりつづく)

修繕でさえも腐蝕の観点から注意深く調べなければならない。あるアルミニウム製の冷却塔の pan は、ポンプの吸引口に銅網を据え付けたためにすっかり腐蝕した。ゴム製の接手をアルミニウムに直接接触させて pan の底に置き、それで円筒状の銅網を支えた。

凹所やその他泥土の堆積し易い水平面は塗装して濃淡電池腐蝕を少くする必要がある。塗装前に金属表面はきれいに仕上げて置かなければならない。沈殿物や腐蝕生成物はすべて除去し、グリースや油も溶剤で洗って完全に除去しなければならない。表面の仕上げはまず磷酸系のもので酸洗した後、クロム酸亜鉛の下地塗装を行ない、次に仕上げ塗装すべきである。仕上げ塗装には耐水性のよい塗料とか、水及び弱酸、弱アルカリに耐える瀝青塗装がよい。

第3 循環水及び化学処理した水は水専門の有資格者に分析してもらうべきである。そしてその忠告に従って

適当な腐蝕抑制剤を絶えず水に適切な濃度添加すべきである。本実験結果では pH を 7~8.5 に保ちつつ、クロム酸ナトリウムを 200~500 ppm 使用するのが腐蝕をもっとも少なくする上に実用的に有効である。抑制剤の調節には一定の試験法を行なわなければならない。

結 論

アルミニウムは冷却塔及びそれと同種の装置の建造及び操業に有用な材料であることを立証する顕著な特徴を数多く持っている。強度の割に軽いこと、加工の容易なこと、及び一般の腐蝕に対して耐蝕性の良いこと等はこの応用にとってアルミニウムの重要な性質である。アルミニウム製の装置は使用する合金を撰擇し、健全な設計原理に従って設計し、正しい維持を行い、絶えず循環水処理して調節すれば、常に良い状態で使用でき、満足すべき結果が得られる。

参考文献

- 1) S. Sussman, Ind. Eng. Chem., 44, 1740~44 (1952) Aug.