船尾管シール用ライナ材について*

畠中俊彦** 早見信博***

Experimental Investigation on a New Stern Tube Seal Liner

By Toshihiko Hatanaka, Nobuhiro Hayami

In a stern tube seal liner using high chromium stainless steel, sometimes troubles occur owing to pitting corrosion and abnormal abrasion. Therefore in order to develop the new stainless steel liner superior in corrosion, the effect of chemical composition was investigated by immersion corrosion tests in 3% FeCl_3 solution. From the results of above tests, best composition was selected, and the abrasion resistance of the selected material was confirmed by trial tests using 220 type seal liner. Consequently the followings were found;

- 1) Reducing the carbon content to 0.1% or less is effective to make corrosion resistance better.
- 2) The pitting corrosion resistance is improved by containing 1 to 2% molybdenum and special element.
- 3) On heat treatment, water cooled liner is better than air cooled one in view of decreasing corrosion rate.
- 4) The new developed stainless steel liner is confirmed to be superior to ordinary one in pitting corrosion resistance.

1. ま え が き

従来、船尾管シール用ライナには、DIN 規格 17006 に相当する高クロムステンレス鋳鋼が用いられてきたが、近年、使用される環境および条件の変化に伴い、シールラバーとのしゅう動面において孔食状の隙間腐食あるいは異状な摩耗の発生が認められる場合が出てきた¹⁾。その損傷の程度によっては、取り替えあるいは再加工などの処置を必要とし²⁾、特に腐食については油もれおよびシールラバー損傷の原因となる可能性があるため、その発生の防止対策の確立が要望されている。

そこで、船尾管シールライナの隙間腐食の発生を材質的に防止することを目的として、この腐食に及ぼす高クロムステンレス鋳鋼の化学成分および熱処理の影響を検討した。その結果、炭素量を低減し、モリブデンおよび特殊成分を添加することによって、耐食性が飛躍的に改善されるとの知見が得られたので、これらについて報告する。

2. 実 験 法

2.1 供試材 100 kVA 高周波炉を用いて Fig. 1 に示す形状の 20 kg 舟形鋳造材を溶製し、所定の熱処理をほどこして供試した。なお、実体ライナ材としての材

Fig. 1 Shape of test specimen

質の確性試験には、遠心鋳造製の 220 形ライナを供試した。

Table 1 および 2 に供試材として用いた舟形鋳造材および 220 形ライナの化学成分を示す。これらの表からわかるように No. 1 の供試材は DIN 規格相当材であり、化学成分の影響をみるために、この供試材を基準にして Mo, Cr, Ni, Si, C, Cu, および Nb などの成分を添加あるいはその量を増減させた。

熱処理は 1050℃ で 3 時間保持した後、若干の保温状態で空冷して行なった。なお、熱処理の影響を検討するために、No. 3 の供試材については空冷の他に水冷および炉中冷却も実施した。

2.2 試験方法 ライナの腐食は孔食状を呈しているが、シールラバーとのしゅう動面に認められる場合がほとんどであることから、隙間腐食によって生じると考

* 原稿受付 昭和 53 年 6 月 13 日

昭和 52 年秋季学術講演 (昭和 52 年 10 月 27 日)

** (株) 神戸製鋼所 (神戸市暮合区脇浜町 1 丁目)

*** 正会員 (株) 神戸製鋼所 (呉市昭和通り 5 丁目)

Table 1 Chemical composition of test specimen

No.	Chemical composition (Wt %)					
	C	Si	Ni	Cr	Mo	Cu, Nb
1	0.27	1.49	4.62	27.2	-	-
2	0.25	1.27	4.49	27.2	1.56	-
3	0.27	1.49	4.59	27.7	2.41	-
4	0.26	1.40	4.51	25.2	2.35	-
5	0.26	1.43	5.47	27.0	2.36	-
6	0.26	0.51	4.50	27.2	2.40	-
7	0.17	1.49	4.56	27.2	2.38	-
8	0.11	1.49	4.56	27.2	2.36	-
9	0.04	1.42	4.56	27.2	2.41	-
10	0.05	0.54	4.49	27.1	2.33	-
11	0.25	1.40	4.49	27.1	2.33	Cu 2.9
12	0.05	1.25	4.49	26.9	2.33	Cu 2.9
13	0.04	1.28	4.55	27.1	2.33	Nb 0.37

Table 2 Chemical composition of tested liner

No.	Chemical composition (Wt %)					
	C	Si	Ni	Cr	Mo	X*
L 1	0.26	1.45	4.56	27.3	-	-
L 2	0.10	1.37	4.49	27.7	2.33	-
L 3	0.04	1.40	4.52	27.1	2.28	-
L 4	0.05	1.49	4.50	27.0	2.34	Added

* X : Special Element

えられる。隙間腐食は孔食とほとんど同様の機構で生じるとされており³⁾、それらに対する材料の耐食性を短時間で評価するための促進試験法は確立されていないが、いくつか提案されている。それらのなかで塩化第二鉄水浸漬試験⁴⁾が最も簡便であるので、本試験法を採用して耐食性を評価した。塩化第二鉄の濃度は3%、温度は30℃、浸漬時間は24時間および48時間の二種類とした。試験片はFig.1に示した鑄造材のボトム部から採取し、5t×25×30mmの板に加工した後、エメリー紙#500の研磨仕上とした。耐食性の評価は腐食減量および最大孔食深さを測定して行なった。腐食減量は重量減、

Fig. 2 Wear testing device for liner

浸漬時間および試験片表面積から求めた。最大孔食深さは、試片上に生じた孔食のすべてについて深さを測定し、そのなかで最も深い値を用いた。

220形ライナを用いる確性試験としては、上記の舟形鑄造材と同様の塩化第二鉄水浸漬試験による耐食性試験ならびに220形テストスタンド¹⁾を用いて耐摩耗性試験を行なった。Fig.2にテストスタンドの回転部の概略を示す。この図からわかるように油圧は0.9 kg/cm²、水圧は0.6 kg/cm²、ライナの周速は4.5 m/secとし、500時間の回転試験を行なった。試験後の摩耗深さは顕微鏡観察および表面粗さ計によって測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 耐食性に及ぼす化学成分の影響

3.1.1 Moの影響 Fig.3および4に高C高Si材すなわち27Cr-4.5Ni-1.4Si-0.26C-Mo系におけるMoの影響を示す。これからわかるように試験時間の長短にかかわらずMo量が多いほど腐食減量および最大孔食深さが小さい。すなわち、DIN規格相当材にMoを添加することによって耐食性が改善されることを示している。

そこで、以下に述べる成分の影響については約2.3%のMo添加材について検討した。

Fig. 3 Effect of Molybdenum

Fig. 4 Effect of Molybdenum

3.1.2 Cの影響 Fig.5および6に高Si材および低Si材すなわち27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-C系および27Cr-4.5Ni-2.4Mo-0.5Si-C系におけるCの影響を示す。これからわかるように試験条件の長短およびSi量の多少にかかわらずC量が少ないほど腐食減

量および最大孔食深さが小さい。この結果は低 Si 材に比べて高 Si 材において顕著であり、高 Si 材においては C 量を約 0.2% 以下にすることによって耐食性が大幅に改善されることを示している。

このように C 量の低減によって耐孔食性が改善されるのは、Fig. 7 に示すマイクロ組織からわかるように、多くの場合に孔食の起点となるクロム炭化物の析出量が少なくなるからである。

Fig. 5 Effect of Carbon

Fig. 6 Effect of Carbon

Fig. 7 Micro-structure (x100)

3.1.3 Si の影響 前に示した Fig. 5 および 6 からわかるように高 Si 材は低 Si 材に比べて耐食性がすぐれているかもしくは同等である。その効果は C 量の多少および試験時間と関係している。すなわち、48 時間試験においては C 量の多少にかかわらず高 Si 材のほうが腐食減量が小さいが、24 時間試験においては C 量が少ない時のみ高 Si 材のほうが腐食減量が小さく、C 量が多い時は高 Si 材と低 Si 材とで大きな差は認められない。

このように Si は、C 量が多くて試験時間が短い時には効果が小さいが、全般的には耐食性を向上させる作用を有しているため、耐食性の面からは Si を従来のライナ材と同等の約 1.5% 以上を含有させるほうがよいといえる。

3.1.4 Cu の影響 Fig. 8 に 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si 系高 C 材および低 C 材における Cu の影響を示す。これからわかるように高 C 材においては Cu の影響がほとんど認められないが、低 C 材においては Cu 量が多くなると腐食減量が増加している。すなわち、耐食性が劣っている高 C 材に Cu を添加してもそれ以上は耐食性が劣化することはないが、耐食性がすぐれている低 C 材に Cu を添加すれば耐食性が劣化する。これは基本的に Cu が耐食性を劣化させる作用を有していることを示している。

Fig. 8 Effect of Copper

3.1.5 Cr の影響 Fig. 9 に 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-0.25C 系における Cr 量と腐食減量との関係を示す。これからわかるように Cr は約 25~27% の範囲において腐食減量の差が認められない。すなわち、Cr を従来の 27% から 25% に減量しても耐食性がほとんど劣化しないことを示している。

3.1.6 Ni の影響 Fig. 10 に 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-0.25C 系における Ni 量と腐食減量との関係を示す。これからわかるように、Ni は約 4.5~5.5% の範囲において腐食減量の差が認められない。すなわち、Ni を従来の 4.5% から 5.5% に増量しても耐食性は改善

Fig. 9 Effect of Chromium

Fig. 10 Effect of Nickel

Fig. 11 Effect of Niobium

されない。

3.1.7 Nbの影響 Fig.11 に 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-0.04C-2.9Cu 系における Nb の影響を示す。これからわかるように、Nb を添加することによって腐食減量が極めて少なくなっている。これは Nb を添加することにより、Nb 炭化物が優先的に析出し、その結果として腐食発生の起点となりやすい Cr 炭化物の析出が抑制されるからである。この結果を十分に發揮するためには、本試験の供試材のように Nb(%) / C(%) $\geq 8 \sim 10^{(5)}$ を満足するように Nb を添加すればよいが、この Nb 添加によって多くの場合にじん性が低下する⁽⁶⁾ので、Nb 添加は実用性において問題である。

3.1.8 その他 Table 3 に 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-0.04C 系において特殊成分を添加した場合と添加しない場合についての耐食性試験結果を示す。これからわかるように特殊成分を添加することによって腐食減量および最大孔食深さが極めて小さくなる。

Table 3 Effect of Special Element
(3% FeCl₃ Soln., 24Hr Immersion test)

Special element	Corrosion rate (g/m ² day)	Pitting depth (max. mm)
-	9~11	0.18~0.20
Added	0.5~0.9	0.01~0.02

3.2 耐食性に及ぼす熱処理の影響 27Cr-4.5Ni-2.4Mo-1.5Si-0.27C 鋳鋼 (No.3) を供試し、1050℃ で 3 時間保持した後の冷却速度と耐食性との関係を検討した。その結果を Table 4 に示すが、これからわかるように冷却速度が最も大きい水冷の場合に耐食性が最もすぐれており、ついで空冷、炉冷の順となっている。このことから、冷却速度が大きいほど耐食性がすぐれていることが明らかであり、これは前述の Cr 炭化物の析出量が少なくなるためである。

Table 4 Effect of heat treatment

Heat treatment	Corrosion rate (g/m ² day)
WATER cooling	21~44
AIR cooling	44~53
FURNACE cooling	150~170

(3% FeCl₃ Soln. 24 Hr Immersion Test)

3.3 220 形ライナによる確性試験結果 以上の舟形鋳造材による試験結果から化学成分として Mo を添加し、さらに C 量を低減することなどによって耐食性が改善され、また、熱処理の冷却速度は大きいほど耐食性がすぐれていることなどがわかった。

そこで、これらの知見から耐食性がすぐれ、かつ実用性を有すると予想される鋼種について220形ライナによる確性試験を行なった。すなわち、DIN規格相当の高C材(0.26C)、Mo添加・中C材(2.3Mo-0.1C)、Mo添加・低C材(2.3Mo-0.04C)およびMo添加・低C・特殊成分添加材(2.3Mo-0.05C-X)について220形ライナを溶製し、テストスタンドを用いて耐摩耗性試験を行なった。また、そのあとにライナを切断し、3%塩化第二鉄水に浸漬して耐食性試験を行なった。

Table 5 Results of 220 type liner

No.	Tested liner	Wear depth 500Hr Test (μ m)	Corrosion rate 3%FeCl ₃ , 24Hr Immersion Test (g/m ² day)
	Contents of C, Mo and X		
L1	0.26C(DIN17006)	< 10	40~60
L2	0.10C-2.3Mo	< 10	8~10
L3	0.04C-2.3Mo	< 10	8~10
L4	0.05C-2.3Mo-X	< 10	0.5~1.0

これらの試験結果をTable 5に示す。これからわかるようにいずれの供試材も摩耗深さが10 μ 以下であり、差が認められなかった。また、耐食性については前述の舟形鑄造材の試験結果と同様の傾向を示している。すなわち、DIN規格相当材に比べてMoを添加し、かつC量を低減させた鋼種は耐食性がすぐれている。さらに特殊成分を添加させることによって耐食性がDIN規格相当材の約50倍も改善されることがわかる。

また、これらの鋼種はいずれもDIN規格相当材に比べて機械的性質としてのじん性がすぐれていること⁹⁾も確認することが出来た。

4. む す び

DIN規格17006相当のステンレス鑄鋼に比べてC量が低く、かつ、Moを添加したステンレス鑄鋼は極めて耐食性がすぐれており、さらに特殊成分を添加することによってその耐食性が飛躍的に改善されることを確認した。

熱処理については溶体化処理温度に保持した後の冷却が速いほど耐食性がすぐれていることを確認した。

船尾管シール用ライナの孔食状隙間腐食発生の防止対策としては、通常の腐食の場合と同じように陰極防食法も有効と考えられ、すでに実用化されているが、簡便性、メンテナンスおよび経済性を考慮すると基本的には上記のように耐食性が改善されたステンレス鑄鋼の使用の方が有利と考えられる。

文 献

- 1) 徳田・畠中・福岡・黒瀬：神戸製鋼技報，27-4(1977-10)，34
- 2) 日本海事協会誌，(1974-10)
- 3) 伊藤：腐食科学と防食技術，(昭44)，213，コロナ社
- 4) 伊藤：腐食科学と防食技術，(昭44)，465，コロナ社
- 5) ステンレス鋼便覧，(昭48)，447，日刊工業新聞社
- 6) 神戸製鋼所社内報告書，(1974)