ステンレス鋼の耐食性と材料選定

遅 沢 浩 一 郎*

*日本冶金工業株式会社川崎研究所

Corrosion Resistance of Stainless Steels as a Guide for Materials Selection

Koichiro Osozawa*

*Kawasaki Research Center, Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.

The effects of the composition of stainless steel on its corrosion resistance in acids, alkalis and chlorides are explained.

1. 材料選択基準

Cr を 11.5% 以上含む鉄合金を一般にステンレス鋼と呼んでいる。この最低 Cr 量では大気、淡水など自然界において普通鋼に比べてきわめてさびにくい、その他多くの腐食環境を満足するためには不動態形成の主役を演ずる Cr の量をさらに多量含むとともに Ni, Mo, Cu その他の合金元素を添加した材質を選ぶ必要がある。さらに材料側では析出物、非金属介在物、熱処理、加工などが耐食性に影響を与えるので、これらをうまく制御してやることによって良好な耐食性を得ることができる。ステンレス鋼の種類は現在 JIS に含まれているものだけでも 47 種類を数え、さらに外国規格および各社の製造鋼種をいれるとその 3 倍以上は存在すると考えられる。したがってこれらのなかから目的にもっとも合致した一鋼種を選ぶことは至難の業である。

耐食性を重視する装置の材料選択にあたって設計者が行うべき検討項目は、重要度の高い順に並べると、一般に (i) 耐食性, (ii) 機械的性質, (iii) 加工性, (iv) 総コスト, および (v) 調達難易である¹⁾。(i)~(iii) は材料の性質に関するものであるが, (i) は環境によって大きく異なりうるためもっとも判断が困難である。一方 (iii) のなかには成形性, 溶接性, 切削性なども含まれるが, 製作上の能率を重視する場合や加工により耐食性の変化がある場合には (i) と同様に重要な問題である。(iv) は素材費だけでなく寿命, 製作上の能率なども考慮した総コストであり, また (v) では素材メーカ, 問屋などからの材料調達の難易とともに素材メーカやファブリケーターが製作しやすいか否かが考慮されなければならない。(i)

では装置構成材料がさらされる条件, すなわち液組成, pH, 酸化還元性, 温度, 圧力, 電導度, 流速, 伝熱, 応力, 振動, 他材料との接触など, さらに使用中の条件変化や高温の場合には材料自体の変化などを把握する必要があるが, これらすべてを組み合わせた条件における各種材料の特性はわかっていない。そのときの目安として用いられるものは, まず従来の経験, 各種公表データ, 材料の耐食性に対する基礎知識, 専門家の意見などで, それらを参考にして候補材料を絞る。候補材料が決まったら, さらに材質選定のための腐食試験 (ピーカ, パイロット, 実地) を経て最終的結論を下すのが理想的である。一般には問題とする環境におけるある種の材料の耐食性がわかっていることがあるので, 類似環境における各種材料の耐食性を比較することにより候補材料をかなり限定することができる。

ところで実際にステンレス鋼に多く起きている腐食の形態としては事例によると図 1 のようなものがある。同図はわれわれが調査した湿食事例の腐食形態別事例件数の割合を示したものであるが, 応力腐食割れ (以下 SCC

図 1 ステンレス鋼湿食事例の腐食形態別割合の推移
(日本冶金工業調査結果)

* 〒210 川崎市川崎区小島町 4-2 (4-2, Kojima-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki 210, Japan)

と記す) がもっとも多く、孔食(すきま腐食も含む)がこれに次ぐ。全面腐食は常に 10% 位を占め、粒界腐食は最近 5 年間ではきわめて少ないが、粒界割れはやや多く 10% 強となっている。一方、腐食疲労の割合は最近増大する傾向がある。これら以外にエロージョン・コロージョン、キャビテーションなども認められるが、それらの事例はまれである。以上のように主として中性塩化物含有環境で問題となる SCC と孔食がもっとも件数が多く両者併せて 3/4 を占めているが、これらについてはすでに多くの解説があり、本誌でも扱われている^{2,3)}。以下には酸、アルカリ、および塩化物環境に分けて、これら環境におけるステンレス鋼の耐食性と鋼種選定に着目して説明したが、塩化物環境における孔食および SCC については簡単に触れることにする。

2. 耐酸性

2.1 一般耐食性と合金元素

ステンレス鋼の耐食性を考える場合基本的には一般に電位、pH および塩化物の有無を頭に浮べる。まず各鋼種の耐食性の基本をつかむためにアノード分極曲線上の各パラメータに対する合金元素の影響を定性的に図 2 に示した⁴⁾。ステンレス鋼は元来不動態の状態で使用されるので、不動態域を広くするものおよび不動態化を容易にする(すなわち i_c を低くする)ような合金化が有効である。もっとも多く用いられる方法としては、主合金元素である Cr 量の増大、Ni, Mo, Cu, Si などの添加、S の低減などが挙げられる。なお図中の E_{br} は不動態の局部破壊による腐食(孔食)が開始する電位、すなわち孔食電位である。耐食性に有効な合金元素は本来金属地中に固溶してはじめて効力があり、炭化物、窒化物、その他各種介在物または金属間化合物を形成した場合には一般に有害となりうる。一方、Pt, Pd などカソード反応を助

図 2 鉄および鋼のアノード分極特性に及ぼす合金元素の影響(太い矢印は有効, 細い矢印は有害であることを示す) [文献 4) に筆者一部加筆]

図 3 脱気 5% 硫酸 (80°C) 中における Mo 含有量の異なる 18Cr-20Ni-Mo 鋼のアノード分極曲線

図 4 Cu 含有量の異なる 18Cr-12Ni-3.5Si 鋼の脱気 5% 硫酸 (50°C) 中におけるアノード分極曲線

図 5 18Cr-10Ni 鋼の 2N H₂SO₄ (23°C) 中のアノード分極曲線に及ぼす鋼中 S の影響⁵⁾

長して不動態化を促進する方法もあるが、これら貴金属をステンレス鋼に添加したものはまだ実用されていない。Cu も類似の効果があるが、これは他の元素との複合添加で利用されている。分極曲線に対する合金化の例として Mo と Cu の効果を図 3 および図 4 にそれぞれ示した。Cu の増大は活性ピークの左側を下げ（主としてカソード反応の増大）、Mo はピーク全体を下げる。S の増大は図 5 のように不動態化電位を貴に移行させるが、Mo の添加によりその害は軽減される。実用上はいわゆる耐酸性を上げるためには Mo の添加または Mo と Cu の複合添加、さらにこれらとともに Ni 量の増大がはかられており、高 Ni 材では粒界腐食防止のためにさらに Nb または Ti が添加されている。Mo または Mo-Cu を複合添加したオーステナイトステンレス鋼の成分例を表 1 に示した。これら材質については数種の酸中における温度-濃度限界が求められている。

耐食性を試験するためにもっともよく実施されている浸せき腐食試験においては、時間変化、材料側の変化

(組成、熱処理) または環境の変化 (温度、濃度、不純物の混入) に対して腐食度がいかに変わるかを調べて置くことが重要である。図 6⁶⁾ は腐食度に対する合金元素

図 6 合金元素濃度による腐食度の変化 (模式的)⁶⁾

図 7 腐食度の合金量依存性の例⁸⁾

表 1 耐食用 Mo 含有オーステナイトステンレス鋼

	Ni	Cr	Mo	Cu	ほ か	鋼 種 名 (例)
Cr-Ni-Mo 系	11	17	2.5	—	—	SUS316
	13	18	3.5	—	—	SUS317
	16	18	5	—	—	NTKM5, NAS144MLK
	25	20	5	—	—	HV-9, IN-862
	25	20	5	—	Nb or Ti	JS700, NAR20-25MTi
	25	20	6.5	—	—	AL 6 X
	25	25	2.7	—	Nb or Ti	NAS204X, NTKRMT
	25	25	2.7	—	Nb or Ti	NAS204X, NTKRMT
Cr-Ni-Mo-Cu 系	12	18	2.2	2	—	SUS316J1
	20	18	2.2	2	Nb or Ti	1.4505, 1.4506
	22	20	2.2	2	—	NAS175T, NAR20-20MCu, NTK22A
	22	20	2.2	2	Nb	NAS175X
	22	20	3.2	2	Nb	1.4586
	25	20	4.5	1.5	—	2RK65, B6, 904L, 254SLX
	33	20	2.5	3	Nb	Carpenter 20Cb-3
	40	21	3.5	2.2	Ti	Incoloy 825

量の影響を模式的に示したものであるが、合金元素量以外に時間または環境のわずかな変化によって腐食度が急激に変化することもある。図 7⁹⁾ と図 8⁹⁾ には合金元素量と腐食度の関係の例を、図 9 には環境の変化と腐食度の関係の例を示した。これらから明らかなように、ある

図 8 X2CrNi18 15 鋼の 98% HNO₃ 中における腐食度と鋼中 Si 量の関係⁹⁾

図 9 1% HCl 中における各鋼種の腐食度に及ぼす温度の影響

限界の元素量または液条件から腐食度が急激に増大する場合がある。すなわち材料または環境側条件の僅かの差異により不動態から活性態に（または活性態から不動態に）なる境界条件付近では、環境/鋼種の組合せをただ 1 条件の浸せき試験で判断することは危険で、前後の関係を把握して置くことが望ましいわけである。

2.2 材質不均一による腐食

上記のような問題は金属組織内部に不均一（析出、偏析など）がある場合はとくに重要である。写真 1 は成分偏析部が優先腐食された例で、尿素プラントのカーバメイト液で侵食された SUS 316L の断面顕微鏡組織である。腐食部においては Mo, Cr および Ni が母材よりも低くなっており、この優先侵食溝から腐食疲労に進展し装置の破損を招いたものである。これを防止するには材料側では、偏析を拡散焼鈍または成分調整によって消すか、または Cr または Mo 量の高い材質を選ぶことが必要である。写真 2 は装置の洗浄にしばしば用いられるある種のインヒビタを含む塩酸によって優先侵食される

写真 1 SUS 316L 成分偏析部の優先侵食（断面）

写真 2 インヒビタを含む 3% 塩酸による洗浄で生じた SUS 304 製装置の溶接金属部の優先腐食（板断面）

図 10 溶体化処理および鋭敏化処理 Cr-Ni 鋼の脱気 2N H_2SO_4 (90°C) 中における電流密度-電位曲線と腐食形態の電位依存性
①Cr 欠乏部相当, ②Cr 欠乏部を有する鋭敏化材, ③溶体化処理材

ある種のインヒビタを含む塩酸によって優先侵食された溶接金属(ビード)部の顕微鏡写真である。ビード中のフェライト相は高 Cr 低 Ni であるためこの条件で優先侵食され、母材はあまり腐食されないのにビード全体が溶けてなくなってしまうことがある。溶接棒を使用する場合は、溶接金属部に不均一があった場合にも母材と同等の耐食性を示すような組成を選定する必要がある。

いわゆる粒界腐食も析出または偏析など金属地の不均一に基づいて起こる腐食で、粒界に沿った Cr 欠乏域または偏析域が腐食されやすい。これについてはすでに本誌にも解説があるので⁷⁾、ここでは図 10 に電位と電流密度の関係を、溶体化処理材 (Cr 欠乏なし)、鋭敏化処理材 (Cr 欠乏部あり) および低 Cr 組成 (Cr 欠乏部相当) について示すに留めておく。図には各種腐食試験条件における腐食電位も併記した。同図は Cr 量の低い粒界が優先腐食される電位域を示しているが、過不動電域の約 1200 mV (vs. SHE) 以上では Cr 欠乏部はむしろ腐食されにくく、通常 Cr 量の溶体化処理状態の方が粒界腐食を受けやすい。

2.3 前処理の影響とフェライト系ステンレス鋼

酸中における浸せき試験においては、空気中で生じた皮膜がついたまま浸せきされる場合と活性化処理後に腐食液にさらされる場合とでは、腐食度がまったく異なることがある。すなわち空气中に放置されたものまたは何らかの方法によってあらかじめ不動態処理すると、問題の腐食液に入れてもきわめて不動態化しやすく、活性処

図 11 70°C の脱気 20% HCOOH 中における Mo 量の異なる Fe-17Cr のアノード電流-電位曲線⁸⁾ (掃引速度=0.6 V/hr)

理すると同じ腐食液に入れても不動態化しないことがある。この種の現象は JIS の硫酸・硫酸第二鉄腐食試験においてよく経験されることであるが、酢酸または酢酸-ギ酸中の腐食試験でばらつきが大きいなど、有機酸における腐食試験でもしばしば遭遇する。かかる環境では実機においてはすきま腐食も生じやすい。図 11⁸⁾ は 70°C の 20% HCOOH 中における 17Cr 鋼のアノード分極曲線に及ぼす Mo 量の影響を示したもので、2% Mo のとき高い活性ピークとより貴電位で不動態電流に近い低いピークが観察される。3~4% Mo では卑電位側のピークは現われない。また図示はしていないが、酸素吹込み下では 3~4% Mo を添加すると活性ピークはまったく現われないが、0 および 2% Mo ではやはり卑側の高いピークがみられる。同じ液中での活性化処理を行った試験片による浸せき試験によると 17Cr と 17Cr-2Mo 鋼は高い腐食度を示し、他はきわめて低い腐食度を示す。すなわちこの条件では 2% Mo では危険で 3% Mo ならば安定している。活性化せずに浸せきすると 2% Mo の場合は低い腐食度となり誤った結論を下すことになろう。また図 12⁹⁾ は 18Cr-2Mo 鋼と 316 鋼の酢酸に対する耐食域に対する活性化処理有無の影響を示したもので、316 鋼では前処理の差は小さいが、18Cr-2Mo 鋼ではきわめて大きい。このような前処理の差はフェライト系ステンレス鋼でとくに著しいので、材料選定試験および各種腐食データをみるとときにはこの点に留意すべきである。図 13 には各種フェライト系ステンレス鋼の

図 12 りん酸中における等腐食度曲線
($0.1 \text{ g/m}^2/\text{hr}$)⁹⁾

図 13 5% H_2SO_4 中における各種高純度フェライト・ステンレス鋼および 316 鋼のアノード分極曲線

5% H_2SO_4 中におけるアノード分極曲線を示したが、これらは 316 鋼よりも不動態化電位が卑であり不動態域は広いが、活性ピークが 316 鋼に比べて著しく高いものもあるので還元性の条件では著しく高い腐食度を示す可能性がある。したがって高 Cr フェライトステンレス鋼でも Mo 量を多くし Ni を添加したものが耐酸性の点ではすぐれている。

前述のとおり酢酸環境においてはしばしば塩化物の共存が腐食の加速因子となるが、図 14 は塩酸を含む酢酸-蟻酸溶液中におけるアノード分極曲線で、316L 鋼にだけ孔食発生の可能性があり、他の高 Cr ステンレス鋼はよりすぐれた耐食性を有することを示している。塩化物の共存は孔食を起点として腐食を速め、活性溶解に移行することがある。これは表面皮膜のある状態に比べ活性化後の不動態化ピークが高いためであると解釈されてい

図 14 塩素イオンを含む酢酸-蟻酸溶液中におけるアノード分極曲線

る¹⁰⁾。

2.4 SO_2 , Cl^- 存在下の腐食

以上は比較的単純な酸中における腐食であるが、実用環境ではさらに他の腐食因子がかからむことが多く、たとえば硫酸中の腐食に対する硫化物、磷酸中の腐食に対する弗化物、硅弗化物および塩化物など、酢酸中の腐食に対する塩化物、硝酸、硫酸の影響などについては古くから研究されている。前述のとおり酸中における塩化物の影響としては孔食などの局部腐食を誘発し全面腐食に移行させることもある。また、排煙脱硫装置では SO_2 が含まれるが、硫酸に SO_2 を通じたときの腐食度または電流密度と電位との関係を Mo 量の異なるステンレス鋼について求めると図 15¹¹⁾ のとおりである。これを模式的に図 16 に示した。 SO_2 のある程度の添加は活性溶解

図 15 30 g/l SO_2 を通じた 2N H_2SO_4 (60°C) 中におけるステンレス鋼の腐食度と電流密度の電位依存性

図 16 硫酸中の腐食に及ぼす SO_2 、 Cl^- と鋼中 Mo の影響 (模式的)

図 17 中性塩化物溶液中の腐食に及ぼす SO_2 と鋼種の影響 (模式的)

を盛んにし 304 鋼の腐食度を増すが、Mo 含有鋼では不動態化しやすく、腐食度は低くなる。すなわち SO_2 は酸化剤であるため多量に添加することにより不動態となる。また、ここに Cl^- イオンが共存すると Mo 含有鋼に孔食を発生する可能性があり、かかる環境では耐孔食性をも具備した鋼種を選ぶ必要がある。また中性塩化物溶液中に SO_2 を通すと図 17 のように耐孔食性の劣る鋼種①は孔食を発生するようになる。なお SO_2 は Fe^{3+} を Fe^{2+} へ還元するという作用もあり、その特異効果は硫

図 18 新ステンレス鋼および従来鋼種等の Cr および Mo 量

安溶液中における装置材料の防食と硫酸結晶の着色防止に有効であるといわれる¹²⁾。

図 18 には新しいステンレス鋼も含めた各種耐食用ステンレス鋼の Cr と Mo 量を示したもので、耐食性をごく大まかに $(\% \text{Cr}) + 2 \times (\% \text{Mo})$ 量で整理できると仮定し、同図中にこの値が一定となる線を引いた。

3. 耐アルカリ性

アルカリの代表であるかせいソーダ溶液中におけるステンレス鋼の腐食挙動を理解するために図 19¹³⁾ には 18Cr-10Ni 鋼以外に Fe, Ni および Cr の 50% NaOH, 130°C における分極曲線を示した。ステンレス鋼の腐食電位はこの条件では $-1170 \text{ mV (vs. SCE)}$ 付近で活性域にあるが、かせいソーダ濃度が低くなると貴側へ移行し腐食度は減少する。隔膜電解法かせいソーダのように

図 19 かせいソーダ溶液中における鉄、クロム、ニッケルおよび 18Cr-10Ni 鋼の電流-電位曲線¹³⁾

図 20 48% NaOH 中のオーステナイト・ステンレス鋼の腐食度に及ぼす NaClO_3 の影響¹⁴⁾ (100°C, 24 hr)

酸化剤である塩素酸塩を含むと図 20¹⁴⁾ のように腐食度が上昇する。この条件では Cr 量が高く Ni 量はやや低い方がむしろ良い耐食性がある。純 Ni は純粋なかせいソーダ溶液では一般に腐食量は低いが、酸化剤を添加すると腐食電位が活性ピークを示す電位域に移行するため腐食されやすく、むしろ Cr を多量含む合金の方が酸化剤の存在下では腐食性がすぐれている。したがって隔膜電解法かせいソーダ溶液中では 26 Cr-1 Mo や 30 Cr-2 Mo 鋼は良い耐食性を示す。この条件下における各種金属材料の実地腐食試験結果も発表されている^{15,16)}。

かせいソーダ溶液中では SCC を生じやすいことはよく知られている。電位的には SCC は一般に不活性/活性、活性/不動態、および不動態/過不動態の 3 境界領域

図 21 各材料のかせいソーダ液における SCC 発生限界¹⁰⁾

で生ずるといわれているが¹⁷⁾、225°C の 20% NaOH 中で 304 鋼は -0.8 V (vs. SHE) 以下、 -0.5 V 付近および $+0.5 \text{ V}$ 以上で割れるといわれており¹⁸⁾、これら電位が上記 3 領域にそれぞれ相当するものと思われる。Inconel 600 においても温度または濃度を上昇させると腐食電位は卑となり割れ条件に到達する。実際の浸せき状態での割れ条件範囲を図 21¹⁰⁾ に示した。

4. 塩化物に対する耐食性

中性の塩化物水溶液中でしばしば問題となる無応力下の自由表面における局部腐食、すなわち孔食については環境および合金元素の影響もかなり明らかにされている。たとえばその尺度として孔食電位をとると、それに対する合金元素の影響は定性的には図 1 中の E_{br} で示さ

表 2 Mo, N 含有の新しいステンレス鋼例

鋼 種 名	化 学 成 分 (wt %)						0.2% 耐 力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %
	C	Ni	Cr	Mo	N	ほ か			
Allegheny 216	≤0.08	6	19.75	2.5	0.37	8.25Mn	49	70	45
NAS 124L	≤0.03	11.5	21	2.5	0.2		42	76	50
NAS 45M*	≤0.03	5	24	1.5	0.1	1Cu	53	72	34
Nitronic 50	0.05	12.5	22	2.25	0.3	5Mn 0.18Nb, 0.18V	63	93	35
NTK R-4*	0.03	5	24.5	1.5	(0.1)		52	77	30
Sandvik 2RE69	≤0.02	22	25	2.1	0.12		26	55	30
X3CrNiMoN 17135	<0.04	13	17	4.5	0.15		≥30	60~80	≥30
X3CrNiMoN 196	0.03	15.7	19.7	3.0	0.28	4.7Mn, 0.2 Nb+Ta	≥43	≥68.5	≥30
YUS 170	0.05	13	25	0.7	0.3		44	80	50

* フェライト・オーステナイト二相鋼、他はオーステナイト鋼。

図 22 亜硫酸ガスクラパー環境における 316L 鋼の腐食に及ぼす pH と塩化物濃度の影響²⁰⁾

れている。Cr, Mo および N がとくに有効でしかも実用的合金元素であり、最近では表 2 に示すような Mo+N 含有のステンレス鋼が開発されている。Cr および Mo の増大は耐酸性を向上させ N の多量添加は耐力および引張強さを増大させるので表 2 に示したような鋼種は耐孔食性以外に高力耐酸ステンレス鋼としても利用価値がある。なお塩化物の存在は pH のあまり高くない条件下では孔食から全面腐食に移行させることがある。実例でもたとえば pH 3.5, 3% NaCl, 60°C における 304 鋼、さらに pH 4, 4.5% NaCl, 26°C における 316 鋼において局所的な全面腐食を受けたことがある。図 22²⁰⁾ には亜硫酸ガスのスクラパーにおける 316 鋼の腐食に対す

図 23 2 M NaCl, 23°C における各鋼種の depassivation pH²¹⁾

図 24 Depassivation pH と合金元素量の関係

図 25 各種ステンレス鋼のすきま腐食および孔食の限界温度に及ぼす Mo 量の影響²³⁾

る pH と Cl^- イオン濃度の影響を示した。

とくに海水中で問題となるすきま腐食に関してはまだ孔食はどのくらいにされていない。しかしすきま部は腐食の進行に伴い低 pH 高塩化物濃度となり、その条件下での耐食性がすきま腐食性の尺度となるという考えがある。この場合 pH をより重視し、すきま内の pH が下がりが不動態が破れて活性化するという考え方から、不動態が破れる pH (depassivation pH) が求められている。その例を図 23²¹⁾ に示した。この pH 値は Cl^- 濃度によりやや高い方へずれる。また合金元素としては Cr, Mo および Ni 量の増大はそれを低 pH 側へ(有効)、S の増大は高 pH 側へ(有害)、それぞれ移行させる。図 24 は合金元素量と depassivation pH の関係を示したものである^{21, 22)}。また図 25²³⁾ には 10% 塩化第二鉄浸せき結果から求めた実用合金の孔食およびすきま腐食限界温度を示した。

SCC については実用上の観点から材料の使用可能条

図 26 NaCl 溶液中における応力腐食割れに及ぼす温度と塩素イオン量の影響²⁴⁾
(点線より上で応力腐食割れ発生)
試験時間: 13,500hr
試片組成: 0.06 C, 0.70 Si, 1.67 Mn,
18.24 Cr, 8.45 Ni, 0.56 Mo

件を出すことが要望されている。それに影響する材料側因子の影響はかなり明らかにされており、また環境側では電位もしくは溶存酸素、温度、 Cl^- イオン濃度、pH などと SCC 発生有無の関係を求めることが行われ、多くの結果が発表されつつある。SCC についてもその発生を 1 点だけの試験条件で判定することは危険で、条件の変化によって耐 SCC 性がどう変わるかを知ることが肝要である。図 26²⁴⁾ は pH の異なる食塩水中における SCC 発生に対する Cl^- イオン濃度と温度の影響を長時間試験によって求めたものである。一方、SCC 事例を割れ近傍における他の腐食形態からみると表 3 のとおり孔食が随伴する場合が多い。孔食を起点として SCC に発展する場合は耐孔食性を向上させることが耐 SCC 性向上になる。耐酸・耐孔食性を向上させると SCC 発生範囲は低 pH 高電位側の狭い範囲に限定される傾向がある。粒界 SCC は粒界の鋭敏化と関連しているので耐粒界腐食性を向上させることが耐 SCC 対策となることが多い。それ以外の SCC の場合は Ni 量の増大、その他耐 SCC 鋼の利用、さらにフェライトステンレス鋼の利用が有効である。耐 SCC 性のための鋼種選定順序の例を図 27 にまとめて示した。

表 3 応力腐食割れ周辺に認められた他の腐食形態

周辺腐食形態	件数	%
全面腐食	8	10.5
粒界腐食	3	4.7
孔食	31	48.4
すきま腐食	3	4.7
腐食なし(?)	19	29.7
(計)	64	100.0

図 27 各種耐食性 (とくに耐 SCC 性) に対する鋼種選定順序 (* 印は表 2 参照)

5. あとがき

以上はステンレス鋼の酸、アルカリおよび塩化物溶液中における耐食性について、主として材料側の影響についての一面を紹介したに留まったが、第一次材料選定の参考になれば幸いである。なお、はじめにも述べたとおり、材料選定における基準の一つである総コストには期待寿命も含まれるべきであるが、さらに修理費、休止中の費用を考慮するとともに加工費 (加工の難易) までも考えてどの材料にすべきかを決定することが重要である。ただし SCC や孔食が問題となる場合は絶対寿命を推定することは困難なので、とりあえずは材料間の相対寿命をある程度推定する方法を開発することが望まれる。

文 献

- 1) Carpenter Technology, "Carpenter's Selectaloy Method" (1969).
- 2) 鈴木紹夫: 防食技術, **25**, 761 (1976).
- 3) 大谷南海男: 防食技術, **26**, 655 (1977).
- 4) N. D. Tomashov: "Proc. 3rd Int. Congr. Met. Corr.", J. M. Kolotyrkin (ed.), Vol. 1, p. 37, MIR Publishers, Moscow (1969).
- 5) J. L. Crolet, L. Seraphin & R. Tricot: *Métaux Corr. Ind.*, **616**, 415 (1976).
- 6) A. Bäuml: *Werkst. Korros.*, **27**, 687 (1976).
- 7) 遅沢浩一郎: 防蝕技術, **22**, 267 および 317 (1973).
- 8) J. C. Charbonnier & P. Noual: *Corr. Sci.*, **17**, 1009 (1977).
- 9) L. Troselius ほか 6 名: *Brit. Corr. J.*, **10**, 174 (1975).
- 10) 松島 敏: 腐食防食協会 '76 春期学術講演大会講演予稿集, p. 20, 腐食防食協会 (1976).
- 11) G. Herbsleb & W. Schwenk: *Werkst. Korros.*, **18**, 531 (1967).
- 12) 大久保勝夫: 第 10 回腐食防食懇談会 (日本材料学会), p. 45, 日本材料学会 (1975).
- 13) G. Santarini & J. Y. Boos: *Mem. Sci. Rev. Met.*, **73**, 693 (1976).

- 14) 梶山裕久, 栗屋 裕: 防食技術, **25**, 149 (1976).
- 15) NACE Technical Committee T-5A-9C: *Mater. Prot. Pref.*, **10**, 39 (1971. 7).
- 16) International Nickel Co.: Corrosion Engineering Bulletin CEB-2, International Nickel Co., (1973).
- 17) R. W. Staehle: Int. Conf. SCC and HE of Iron Base Alloys, Firminy (1973. 6).
- 18) L. Dahl, T. Dahlgren & N. Lagmyr: Int. Conf. High Temperature Pressure, Electrochemistry in Aqueous Solutions, Surrey (1973).
- 19) H. Gräfen & H. Spähn: *Chem.-Ing.-Techn.*, **39**, 138 (1967).
- 20) Climax Molybdenum Co., Ltd. 資料.
- 21) J. L. Crolet, L. Séraphin & R. Tricot: *Rev. Met.*, **52**, 937 (1975).
- 22) 小川洋之, 伊藤 功, 中田潮雄, 細井祐三, 岡田秀弥: 鉄と鋼, **63**, 605 (1977).
- 23) R. J. Brigham: *Mater. Pref.*, **13**, 29 (1974. 11).
- 24) J. E. Truman: *Corr. Sci.*, **17**, 737 (1977).