

# 化学機器に使われる高合金材料について

## Highly Alloyed Austenitic Materials for Chemical Equipments



化工機事業部 生産技術課  
宮崎 公志  
Koshi Miyazaki

The nickel base alloys outperform austenitic stainless steels because of their versatile resistance to uniform corrosion, pitting, and environmental stress cracking.

This article familiarizes engineers with the Fe-Ni-Cr-Mo alloys and provides assistance in materials selection by characterizing them in terms of chemical composition and performance in various corrosion media.

Even though it is difficult to assess the beneficial effect of each alloying element in the Fe-Ni-Cr-Mo system, general guidelines can be summarized as follow.

For uniform corrosion resistance: increased Mo is beneficial for resistance in nonoxidizing acids; increased Cr is beneficial for resistance in oxidizing environments; and increased Ni is beneficial for resistance in alkaline environments.

For pitting corrosion resistance: increased Mo and Cr desirable.

For stress corrosion cracking resistance: increased Ni as well as Mo is desirable.

For improved weld and heat affected zone corrosion resistance: low interstitial content is required.

Further, presented below are variety of chemical process equipment which Shinko-Pfaunder has manufactured so far by using these alloys.

### まえがき

最近の化学工業の進歩により、材料がさらされる腐食環境はますます過酷になってきた。装置に腐食事故が起こるとその機器の停止にとどまらず、プラント全体をとめる事につながり、損害は単にその腐食事故が起こったところのメンテナンス費用のみでなく、それによる機会損失が重要視されるようになってきた。このためメンテナンスフリーをめざしてより安全な材料選定の立場より、高級な材料の要望が高まりつつある。このため各材料メーカーでは、高級耐食材料の開発が進められており、同時にファブ리케이션においても、より高温高圧化するプロセスに対処する設計技術や、新しい材料を生かした装置・機器類の製作技術も年とともに高度化してきた。ユーザの方々が一番要望されることは、材料の耐食性能と経済的な面との兼ね合いから生じる、いわゆる“適性材料の選択”である。本稿ではこのような問題点をふまえて、最近注目されている高合金材料についてその耐食性と材料選定に主眼を置き説明する。

### Ni基合金の分類

化学機器に使われる Ni 基合金は一般に第 1 グループとして Fe-Ni-Cr-Mo と第 2 グループとして Fe-Ni-Cr, Ni-Mo および Ni-Cu 合金の二つのグループに大別される。第 1 表に Fe-Ni-Cr-Mo グループの主な合金を示す。これらの合金は高 Cr (通常 20% ぐらい)、低 C (通常 0.03% 以下)、Ni (12~62%)、および Mo (2~16%) より成る。この他に Cu, Cb, Ti, W, V および N<sub>2</sub> が添加される。

第 2 グループの合金も第 1 表に示したが、これらはさらにサブグループに分類される。例えば SUS 304, インコロイ 800 やインコロイ 600 はすべて Mo を含有しない Cr 含有合金で Fe と Ni の比率を変化させている。ハ

ステロイ B-2 やモネル 400 は Ni-Mo や Ni-Cu の 2 種類の元素からなり、一方 Ni 200 は工業的な純 Ni である。実用的な見地から Hastelloy B-2, モネル 400 および Ni 200 は水溶液腐食に対して使用される。第 1 表はすべての Fe-Ni-Cr-Mo 合金をカバーしていないが、この他に Hastelloy G を改良した低 C-Mn-Si 系の Hastelloy G-3, あるいは Hastelloy C の改良型で低 C-Si 系の Hastelloy C-276 などがある。これらの改良型は靱性, 溶接性, 熱的安定性および強度が向上する。また耐食性はこれらの改良型によって変化し、主なる元素の含有量がすべての耐食性を決定する。写真 1, 2 は当社で製作したモネル 400 製熱交換チューブおよびカーペンター 20 Cb-3 製コイルを示す。

### 2. 均一腐食 (全面腐食)

均一腐食 (または全面腐食) は比較的平坦な、あるいは凹凸の激しい腐食状態を示す。ここでは活性溶解域およ

第 1 表 高合金材料の化学成分

Table 1 Compositions of some austenitic alloys for corrosion service

Alloy	UNS No.	Ni	Cr	Mo	Fe	C max	Other
Fe-Ni-Cr-Mo Alloys							
SUS 316L	S31603	10	16	2	Bal	0.03	—
SUS 317L	S31703	11	18	3	Bal	0.03	—
254 SMO alloy <sup>1</sup>	S31254	18	20	6	Bal	0.02	0.2 N, 0.7 Cu
Alloy 904L	N08904	25.5	22	4.5	42	0.02	1.5 Cu
Carpenter 20Cb-3 <sup>2</sup>	N08020	34	20	2.5	38	0.06	0.5 Cb, 3.5 Cu
Incoloy 825 <sup>3</sup>	N08825	Bal	21.5	3	29	0.05	2 Cu, 1 Ti
Hastelloy G-3 <sup>4</sup>	N06985	Bal	22	7	19.5	0.015	2 Cu, 0.5 Cb
Inconel 625 <sup>3</sup>	N06625	Bal	21.5	9	5 max	0.10	0.4 Ti max, 3.7 Cb
Hastelloy C-276	N10276	Bal	15.5	16	5.5	0.01	4 W, 0.35 V max
Fe-Cr-Ni, Ni-Mo, Ni-Cu, and Ni Alloys							
SUS 304	S30400	8	18	—	72	0.08	—
Incoloy 800	N08800	32.5	21	—	44	0.10	0.38 Ti
Inconel 600	N06600	72	15.5	—	8	0.08	0.3 Ti max
Hastelloy B-2	N10655	69	—	28	2 max	0.01	—
Monel 400 <sup>3</sup>	N04400	66.5	—	—	1.5	0.15	31 Cu
Nickel 200	N02200	99.2	—	—	0.4 max	0.10	—

1. 254 SMO is a registered trademark of Avesta Jernverks AB.

2. 20Cb-3 is a trademark of Carpenter Technology Corp.

3. Incoloy, Inconel, and Monel are trademarks of International Nickel Co. Inc.

4. Hastelloy is a trademark of Cabot Corp.

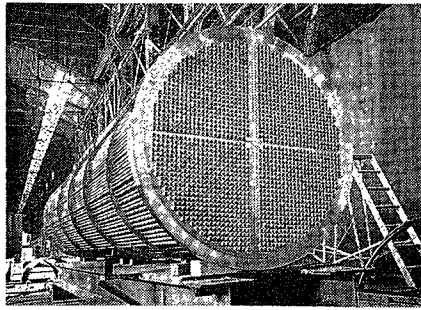


写真1  
モネル 400 製熱交  
チューブ  
Photo. 1  
Monel 400 heat  
exchanger

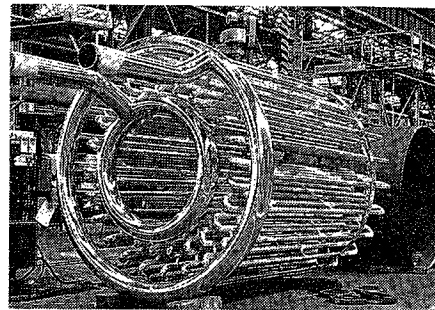


写真2  
カーペンター20  
Cb-3 製コイル  
Photo. 2  
Carpenter 20  
Cb-3 coil

第2表 耐食性におよぼす合金元素の影響  
Table 2 Effects of alloying elements on corrosion  
resistance

Alloying element	Nonoxidizing acid	Oxidizing acid	Alkali
Fe	Bad	Variable	Acceptable
Ni	Acceptable	Variable	Excellent
Cr	Variable	Excellent	Acceptable
Mo	Excellent	Bad	Bad
W	Good	Variable	Acceptable

第3表 沸騰非酸化性酸中の耐食性  
Table 3 Corrosion resistance in boiling nonoxidizing acids

Alloy	Corrosion rate, mils/yr (mm/yr), 24 h exposure				
	40% HCOOH	10% HCl	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	55% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	85% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
SUS 304	180 (4.6)	>12 000* (>305)	2 200 (56)	400 (10)	9 500 (241)
SUS 316	30 (0.8)	>12 000* (>305)	400 (10)	18 (0.5)	450 (11)
SUS 317	NT	9 000 (229)	360 (9.1)	NT	NT
Nickel 200	10 (0.3)	8 000 (203)	130 (3.3)	500 (13)	NT
Inconel 600	10 (0.3)	4 400 (112)	360 (9.1)	NT	1 800 (46)
Incoloy 825	8 (0.20)	1 000 (25)	18 (0.5)	6 (0.15)	35 (0.9)
Hastelloy G-3	2 (0.05)	1 000 (25)	24 (0.6)	5 (0.13)	24 (0.5)
Inconel 625	7 (0.18)	620 (16)	44 (1)	10 (0.3)	110 (2.8)
Hastelloy C-276	3 (0.08)	220 (5.6)	16 (0.4)	7 (0.18)	18 (0.5)
Hastelloy B-2	0.4 (0.01)	7 (0.18)	2 (0.05)	3.5 (0.09)	3.5 (0.09)

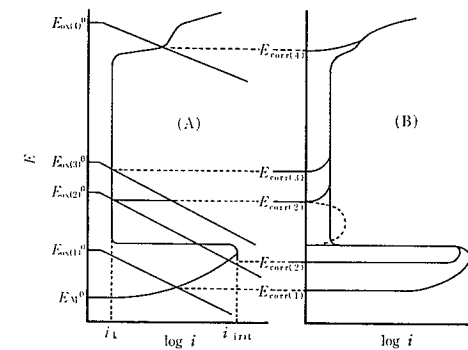
NT=not tested \* Specimen dissolved

び、過不動態域における溶解に関する全面腐食について考える。第2表は非酸化性酸、酸化性環境およびアルカリ環境の耐食性におよぼす合金元素の影響について示したものである。

非酸化性酸では Mo<sup>1)</sup> W および Ni の増加が耐食性を改善する。第3表に4つの酸：HCOOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> および H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> における全面腐食の例を示す。もっとも低い腐食速度を示すものは Hastelloy B-2 で高 Mo (28%) 合金である。耐食性の向上と Mo 含有量の増加の関係が HCOOH, HCl および H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> で良く保たれている。Cr は HCl と H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 環境では耐食性の改善には有効であり、H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 分野の耐食性の向上には Cr 含有合金が有益であることは良

第4表 代表的な酸化還元反応と酸化還元電位  
Table 4 Representative redox reactions and  
redox potentials

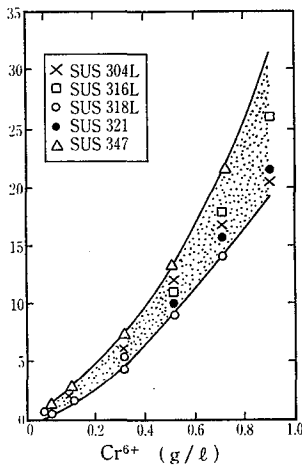
Redox reactions	Eh (V)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> = NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+0.84
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> + 14H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup> = 2Cr <sup>3+</sup> + 7H <sub>2</sub> O	+1.33
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> = MnO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+1.68
Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> = Fe <sup>2+</sup>	+0.75
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> = Cu	+0.35
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> = H <sub>2</sub>	±0.00



第1図 不動態金属に対する酸化剤の作用を示す  
分極曲線 (A) と外部分極曲線 (B)  
Fig. 1 Polarization curves showing the action  
of oxidizing species on passive metals  
(A): Internal polarization curve  
(B): External polarization curve

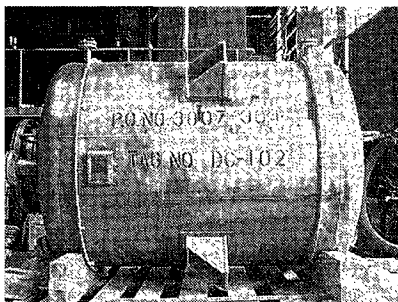
く知られている。なかでも Hastelloy B-2 の使用は前述のごとくもっとも優れている例である。この合金は高濃度の HCl や H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> に出会ったときに使用されるが、酸化剤が存在するような状態になるとこの合金の使用は制限され一般的には Hastelloy C-276 が選ばれる。

腐食の観点から酸の性質を分類すると、酸化性弱酸溶液、酸化性強酸溶液、非酸化性弱酸溶液および非酸化性強酸溶液となる。一般に酸化性環境は H<sup>+</sup> 以外の可溶性物質の酸化還元反応によって特徴付けられる。代表的な酸化性物質には NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup> 酸素などがあり、これらの物質の酸化還元電位を第4表に示す。これらの酸化性物質 (酸化剤) は金属の電位を H<sup>+</sup> 以上に高める作用を有する。温度が高くなると交換電流密度が増大するので、酸化性物質を添加したのと同じ効果を与えることになる。活性—不動態金属の電気化学的挙動におよぼす酸化剤濃度の影響を安性的に第1図に示す。酸化剤 OX<sub>(1)</sub> の場合 E<sub>corr(1)</sub> は活性状態域にあり、これの存在によって腐食は

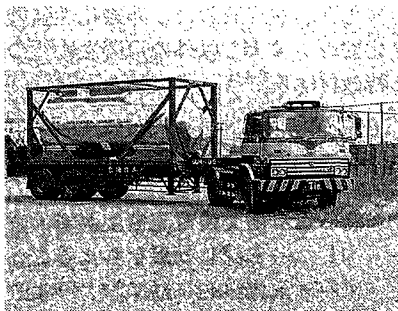


2 図 沸騰65% $\text{HNO}_3$ による18-8系ステンレス鋼の $\text{Cr}^{6+}$ 添加による過不働態化  
g. 2 Transpassivation of 18-8 stainless steels by the addition of  $\text{Cr}^{6+}$  ion in boiling 65%  $\text{HNO}_3$  solution

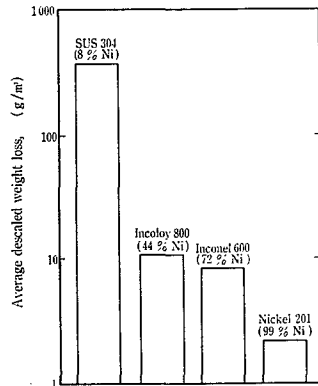
進される。しかし、酸化剤 $\text{OX}_{(a)}$ のような挙動をとる酸化剤の場合には、その還元電流が不働態化の臨界電流 $i_{\text{crit}}$ を超えるので、腐食電位は $E_{\text{corr}(a)}$ のような不働態域に入、腐食速度は不働態保持電流 $i_c$ に等しくなりきわめてさくなる。このような状態が不働態金属に耐食性を発揮せる最も望ましい使い方である。これに対して酸化剤 $\text{OX}_{(a)}$ のような挙動の酸化剤のとき、アノード、カソード分極曲線は3点で交わり、とりうる腐食状態は3通りであるが、実質的には活性状態と不働態域の2箇所での腐食可能性がある。



真 3 ハステロイB製反応槽  
Photo. 3 Hastelloy B Reaction Vessel



真 4 Ni製タンクコンテナ  
Photo. 4 Nickel 201 Tank Container



第3 図 50%  $\text{NaOH}$  における4種の合金の耐食性比較 (315 °C)  
Fig. 3 Comparative corrosion resistance of four alloys in 50%  $\text{NaOH}$  at a temperature of 315° C (600 °F)

第 5 表 沸騰酸化性環境中の耐食性  
Table 5 Corrosion resistance in boiling oxidizing environments

Alloy	Corrosion rate, mils/yr (mm/yr), 24 h exposure	
	10% $\text{HNO}_3$	50% $\text{H}_2\text{SO}_4$ + 2.5% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
SUS 304	1 (0.025)	46 (1.2)
SUS 316	1 (0.025)	36 (0.9)
SUS 317	0.5 (0.013)	28 (0.7)
Nickel 200	>12 000* (>305)	8 000 (203)
Incoloy 825	0.6 (0.015)	11 (0.3)
Hastelloy G-3	0.8 (0.020)	11 (0.3)
Inconel 625	1 (0.025)	23 (0.6)
Hastelloy C-276	18 (0.5)	260 (6.6)
Hastelloy B-2	>12000* (>305)	NT

NT=not tested \* Specimen dissolved

一方、非常に高い平衡電位を有する強酸化剤が共存する系では、酸化剤 $\text{OX}_{(a)}$ のような過不働態域の腐食を起こすことになる。例えば沸騰濃硝酸によるステンレス鋼の腐食は $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Ru}^{8+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ ,  $\text{Au}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{7+}$ などの共存イオンにより著しく促進される。その状況の一例を第2図に示す。この理由はこれら酸化剤の酸化力とその状態の硝酸の酸化力を上まわり、ステンレス鋼を過不働態化するためである。したがって、 $\text{Fe}^{3+}$ のように酸化力が硝酸の酸化力より弱いイオンにはこのような作用は認められない。また過酸化に対する抵抗性のあるFeとかNiにも現象は起こりにくい。

第5表に酸性の酸化性環境における合金の腐食速度を示す。高Mo—低Cr含有合金はこれらの環境において他の合金と同様の性能を示さない。第4表に示した2つの環境では不働態域に腐食電位があるためその結果として腐食速度は各々の不働態挙動によって決まることになる。 $\text{Cr}^{2+}$ とNiの有益な効果がこのデータからわかる。アルカリ環境

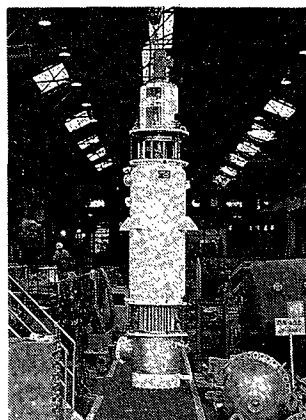


写真 5 ハステロイ C-276製WFE  
Photo. 5 Hastelloy C-276 Wjred Film Evaporator.

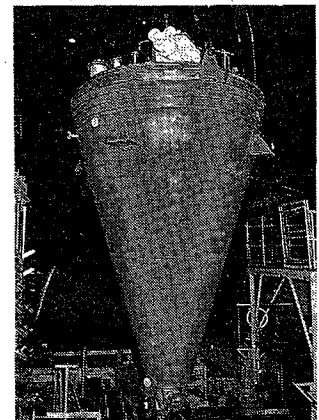
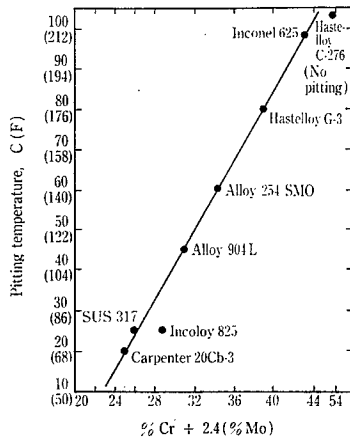


写真 6 Ni製SVミキサー  
Photo. 6 Nickel 200 SV Mixer



第4図 Fe-Ni-Cr-Mo合金の組成と孔食臨界温度の関係 (4% NaCl+1% Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+0.01M HCl)  
 Fig. 4 Critical temperature for pitting in 4% NaCl+1% Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+0.01M HCl versus composition for Fe-Ni-Cr-Mo alloys

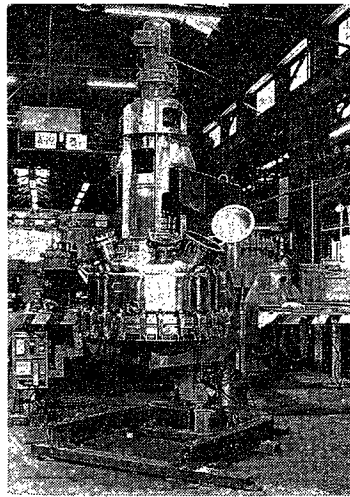


写真7 ハステロイ C-276製 乾燥機  
 Photo .7 Hastelloy C-276 Filter Dryer

における耐食性は合金の Ni 含有量によって決まる。第3図に 50 %NaOH 溶液中における Ni- 含有合金の耐食性を示す。<sup>3)</sup> ししばアルカリ環境はこれらの環境の腐食性を変化させる酸化剤を含むことがある。この状態では Ni と Cr を有する合金が優れた性能を示す。一方多くの Ni 基合金 (高 Fe 含有のもの) は苛性環境に優れた耐食性を示すが、これらの合金は Ni 200 よりコストが高いためあまり使用されない。アルカリ溶液中に塩化物や亜硫酸塩が含まれ孔食が生じるような環境では、Ni-Cr-Mo タイプのグループの合金の使用が好ましい。写真3~6は当社で製作した Hastelloy B 製反応槽, Ni 製タンクコンテナ, Hastelloy C-276製 WFE および Ni 製 SV ミキサーを示す。

### 3. 孔食

孔食 (局部腐食) は不動態皮膜がハロゲンイオン (主に Cl<sup>-</sup>) によって局部的に破壊されることによって生じる。このイオンは不動態皮膜を破壊するとともに活性-不動態セルを形成させる。不動態化を促進する合金元素 (Cr,<sup>4)</sup> N<sub>2</sub><sup>5)</sup>) は孔食を減少させる。耐孔食性は電気化学的分極曲線 (孔食電位, 保護電位), 不動態皮膜補修速度 (スクラッチ法) あるいは浸漬試験 (孔食発生温度) などの方法で評価される。孔食に影響する因子はハロゲンイオン, pH 温度, 酸化剤 (O<sub>2</sub>, Fe<sup>3+</sup>), 組織 (熱処理) および化学成分 (Cr, Mo) などである。Ni 基合金の孔食の原因となるのが塩化物イオンである。臭化物もまた孔食やすき間腐食の原因となる。ふっ化物やよう素は全面腐食を促進させるが、孔食には影響しないようである。孔食に影響するパラメータが耐孔食性の材料をランクするために利用される。第4図に横軸に Cr と Mo の含有量, 縦軸に孔食が発生する温度をとり T 対 %Cr+2.4 (% Mo), 特定環境における多くの合金のランクを示す。係数 2.4 は環境によって変化する。この関係はオーステナイト系 Fe-Ni-Cr-Mo 合金には正当であ

第6表 SCC発生温度

Table 6 Minimum temperature for stress corrosion cracking<sup>1</sup>

Alloy	Temperature, °F (°C)		
	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>
Nickel 200	NC	NC	NC
Inconel 600	NC	NC	NC
Hastelloy B-2	NC	NC	NC
Hastelloy C-276	NC	NC	450 (230)
Hastelloy G-3	NC	450 (230)	450 (230)
Incoloy 825	NC	450 (230)	400 (205)
Incoloy 800	NC	350 (175)	350 (175)
Carpenter 20Cb-3	400 (205)	350 (175)	350 (175)
Avesta 904L	350 (175)	350 (175)	350 (175)

1. Autoclave tests using C-shaped samples and oxygen-containing solutions: 1 week exposure
2. NC=no cracking to 450 °F (225 °C)

るが、フェライト系ステンレス鋼あるいは耐孔食性に影響をおよぼす元素 (例えば W や N<sub>2</sub>) を有する合金には適用されない。

第4図より明らかなように Mo 含有量の増加が効果がある。高 Mo 含有合金<sup>6)</sup> がもっとも良い性能を示すということはこのデータは示している。本環境でもっとも高い温度で試験した Hastelloy C-276 は孔食が唯一発生していない。SUS 317L ステンレス鋼やインコイ 825 より孔食の感受性が高く、かつ Mo を含有していないインコイ 800 やインコネル 600 のような合金は第4図に示さなかった。また酸化性塩化物環境に弱い Hastelloy B-2, モネル 400 および Ni 200 は第4図に示さなかった。写真7に当社で製作した Hastelloy C-276・ソリッド製 乾燥機を示す。

### 4. 応力腐食割れ (SCC)

若干の高合金オーステナイト系ステンレス鋼の耐孔食性は若干の Ni 基合金のそれと同等であるが、一般的には Ni 基合金はオーステナイト系ステンレス鋼より耐 SCC 性がよい。また SCC の感受性については種々の Ni 基合金の中で大きな違いがある。一般にオーステナイト系ステンレス鋼<sup>7,8)</sup> の SCC には Ni が有効で Ni 基合金がそれを証明している。またステンレス鋼の Mo 含有量の増加<sup>9)</sup> も有効である。この Mo 含有量の増加の効果が最近 Ni 基合金<sup>10)</sup> でも観察された。耐 SCC 性は次の因子で評価することができる。環境の特性, 応力, 低 pH, 高温, 酸化剤 (O<sub>2</sub>) および組成 (Ni, Mo), この因子の中で温度と pH は塩化物環境とステンレス鋼の場合には注視せねばならない。第6表に3つの異なった塩化物環境における SCC データを示す。ここに示した環境は SUS 316 および SUS 317 の SCC の原因となるものである。また Ni 基合金は塩化物 SCC に対して免疫ではない。これらの感受性は温度に依存する。塩化物 SCC に対する免疫性に欠けるにもかかわらず、Ni 基合金はオーステナイト系ステンレス鋼よりも大幅に改善される。SCC に対する高い抵抗性は高 Ni あるいは高 Ni プラス Mo 合金によって達成される。写真8に当社で製作

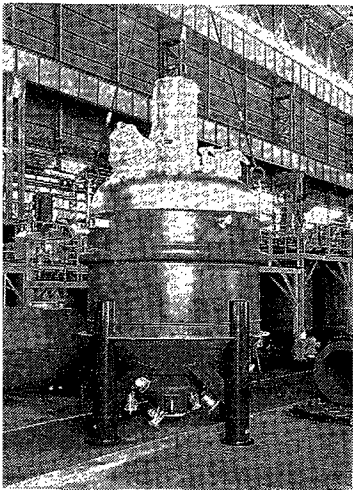


写真 8  
インコネル 600 製反応機  
Photo. 8  
Inconel 600 Reactor

たインコネル 600 製反応機を示す。

### 溶接部の腐食

溶接部の腐食性能に影響する因子として 2 つあり、金属化合物あるいは熱影響部 (HAZ) における炭化物/窒化物の析出と偏析である。主たる合金元素は素材の腐食性をコントロールすることができ、侵入型元素は溶接中の二次析出をコントロールする。このため合金は溶接のまま熱処理なしで使用できる。熱影響部腐食における侵入型の役割、例えば Cb が Fe-Ni-Cr-Mo 合金の溶接中の高割れ性に影響する。溶接部の合金成分の影響に関する 3 つの例として Hastelloy B-2 と B-11)、Hastelloy C-276 と 12)、Hastelloy G-3 と G を比較している。Hastelloy B における C の低下と Hastelloy C-276 における Si の低下は熱影響部における炭化物と金属間化合物相の析出を減らせる。また Hastelloy G-3 の Cb の低下は Hastelloy より高温割れを生じがたくする。高 C 含有の合金は過剰入熱により多くの析出が起るため溶接において入熱が重要である。優れた性能は多くの溶接技術を利用して溶接のまで得ることができる。AOD 精練の出現と低 C を有す合金の開発で、溶接中の析出に関連して Ni 基合金の溶接部の腐食を最小限にすることができるようになった。

### 高合金の選択

第 7 表に種々の環境における Ni 基合金の適用例を示す。詳細は文献<sup>13)</sup>を参照されたい。合金を選択する場合にはまずラポテストを行い合金のふるい分けを行う。ラポテストでのふるい分け法とフィールドテストを行えば実際の運転条件を反映することができる。フィールドテストは当合金の性能を識別するのに十分な時間が必要である。選過程での最終措置は経済上から決定される。

以上述べてきたように Ni 基合金はその多様な耐全面腐食、耐孔食、耐 SCC 性によりオーステナイト系ステンレ鋼より優れている。Ni 基合金の数は多く、性能および用途の適性化のために適当な合金を選択することは重要である。Fe-Ni-Cr-Mo 系合金の各合金元素の利点を評価するのは困難にしても、一般的なガイドラインを次のようにとめることができる。

#### (1) 耐全面腐食性

- Mo を増加すれば非酸化性酸での耐食性が良くなる。

第 7 表 高合金の選択ガイドライン

Table 7 Alloy selection guidelines

Type of corrosion	Type of environment	Candidate alloys
Uniform	Nonoxidizing acids	Hastelloy B-2 Hastelloy C-276 Inconel 625 Hastelloy G-3
	Oxidizing (Cl <sup>-</sup> -free)	Hastelloy G-3 Inconel 625 Hastelloy C-276
	Alkaline	Nickel 200 Inconel 600 Incoloy 800
Pitting	Oxidizing (Acidic-Cl <sup>-</sup> )	Hastelloy C-276 Inconel 625 Hastelloy G-3
Stress corrosion cracking	Acidic-Cl <sup>-</sup> or sour gas	Hastelloy C-276 Hastelloy G-3 Incoloy 825

- Cr を増加すれば酸化性環境での耐食性が良くなる。

- Ni を増加すればアルカリ環境での耐食性が良くなる。

#### (2) 耐孔食性

- Mo と Cr を増加することが望ましい。

#### (3) 耐 SCC 性

- Mo のほかに Ni を増加することが望ましい。

溶接および熱影響部の耐食性の改良には、侵入型元素の含有量を低くする。

### むすび

すぐれた耐食特性を有する高合金は、過酷な腐食環境でシャットダウンや補修費用がかさむような機器・装置への材料選定として好ましいものとなろう。しかし、これらの金属がすべての腐食問題解決のための万能薬とは考えられないが、腐食防食に携わる者にとって魅力ある重要な材料であることは確かである。高合金による化学機器について、当社の製作実績<sup>14),15)</sup>に基づきその材料特性を解説した。

この解説がユーザおよび腐食問題に携わる方々の材料選定に少しでもご参考になれば幸甚に思う。

#### 〔参考文献〕

- F. G. Hodge et al. : Fifth European Congress on Corrosion, Sept. (1973), Paris.
- F. M. Abd El Wahab et al. : J. M. S. Vol. 17 (1982), p. 3401.
- A. J. Sedriks, et al. : Corrosion Engineering, Vol. 28 (1979), p. 107.
- R. F. Steigerwald : Corrosion, Vol. 22 (1966), p. 107.
- T. Sakamoto et al. : Climax Molybdenum Co., Div. Amax Inc., (1980), p. 265.
- K. Sugimoto et al. : Corrosion, Vol. 32 (1976), p. 347.
- H. R. Copson : Interscience, New York, (1959), p. 247.
- A. J. Sedriks : Corrosion, Vol. 31 (1975), p. 339.
- M. O. Speidel : IMC 3. Vol. 1 (1979), p. 109.
- J. Kolts : Corrosion 182, paper 241 NACE (1982).
- F. G. Hodge et al. : Material performance, Vol. 15 (1976), p. 40.
- M. A. Streicher : Corrosion Vol. 32 (1976), p. 79.
- A. I. Asphahani : Materials performance Vol. 19 (1980), p. 33.
- 宮崎・渡辺 : 神鋼フアウドラ-技報 Vol. 31, No. 8, (1987), p. 19
- 宮崎 : 神鋼フアウドラ-技報 Vol. 30, No. 21, (1986), p. 15