

化学機械に用いられるステンレス鋼

日本冶金工業 K K* 川崎製造所

川 畑 正 夫**
吉 武 進 也***

1. は し が き

化学工業の発展に伴い設備の合理化、近代化が要請せられその結果化学機械設計者、加工者、需要者は材料の選定に一段と注意を必要とするに至った。すなわち腐蝕量なるべく少なく長寿命を保ち得る経済的な適材を求めるようになり、それに応えるものとしての近年におけるステンレス鋼の生産量の増大及び発展進歩があるのである。

化学機械に使用せられるステンレス鋼として特に肝要なことは化学機械の設計者は機械的な面のみにばかりとらわれることなく加工、溶接、熱処理、使用環境等を考慮して適材鋼種を選択し設計にのぞむことであり、換言すれば設計者、加工者、需要者が有機的な連りをもつてステンレス鋼を理解し使用せんとすることにある。ここにステンレス鋼理解の一助として一般的な知識について述べることにする。

2. ステンレス鋼の種類

ステンレス鋼には多くの種類がありそれぞれに異つた目的を持つており、今回改正になつた J I S ステンレス鋼には19種類の鋼種、又アメリカの A I S I には39種類の鋼種を規定している。これらを組織上区別すればマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系の三分類に大別出来る。

1) マルテンサイト系

この鋼種はクローム系ステンレス鋼で普通の鋼と同様に熱処理の反応性を持つており、いい換えれば焼入に依つてマルテンサイト組織を生じ、硬化しかつ磁性を有しているものである。改正 J I S ステンレス鋼にては5種類の鋼種が規定されている。

2) フェライト系

これもクローム系ステンレス鋼で冷間加工では幾分硬

化するが、熱処理にては高温でもフェライト組織であつて、急冷してもマルテンサイト組織を生じないため硬化しないし、また磁性を有しており、改正 J I S ステンレス鋼にては2種類の鋼種が規定されている。

3) オーステナイト系

18クローム8ニッケル系のステンレス鋼で冷間加工でのみ硬化し、熱処理では硬化せず軟化し、所謂オーステナイト組織を示しており、冷間加工で少しの磁性を有するが熱処理状態では非磁性である。改正 J I S ステンレス鋼にては12種類の鋼種が規定されている。これらの種類と特性、用途を第1表に示した。

3. ステンレス鋼の特質

ステンレス鋼の使用に際しどのステンレス鋼を使用するが、或は18-8ステンレス鋼を使用するならばどの鋼種をあてるかは一つだけの特性で決定してはならない。ステンレス鋼の特質を充分認識し、適切な鋼種を選択し、充分な設計がなされ、正しい加工が行われ、正常に使用する。

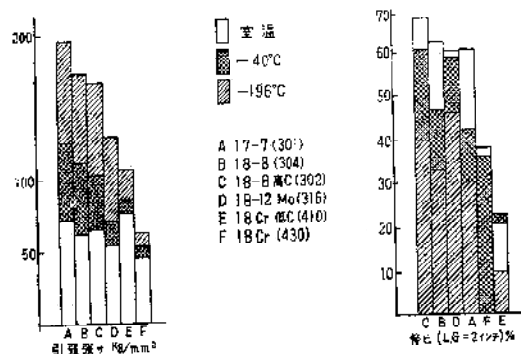
1) 低 温 性

鋼は普通低温で著しく脆化する欠陥をもつており、今日の如く化学工業特に石油化学が発展して第2表に例を示す如く低温操作の必要が多くなつて来ると低温材料としての18-8ステンレス鋼が要求されるのである。鋼は低温になるにつれ引張強さ、硬さを増すが、衝撃的な多力にはある温度以下で急激に脆くなる。この現象は原子配列が体心立方格子型のフェライト鋼に顕著で、面心立方格子型の18-8ステンレス鋼においては低温まで衝撃性が低下せず-200°Cまで安全に使用しうるし、かつ同様の傾向を有する銅合金やアルミニウムよりもすぐれている。第1図～第4図はステンレス鋼とその他の材料の低温における機械的性質を示したものである。尚注意したいことは18-8ステンレス鋼の低温特性が秀れているからといって無条件で受入れてはならない場合もあるということである。すなわちシグマ相の析出、炭化物の析出の場合は第3図に示す如き低温衝撃値の劣化があ

* 川崎市大師河原7007番地

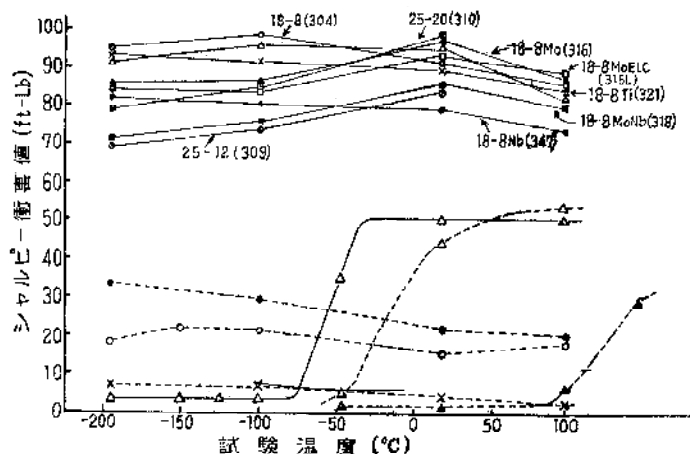
** 取締役副所長

*** 検査係長



第1図 各種ステンレス鋼の室温、-40°C、-196°Cにおける引張り強さ

第2図 各種ステンレス鋼の室温、-40°C、-196°Cにおける伸び



第4図 ステンレス鋼その他の材料の低温衝撃値の比較

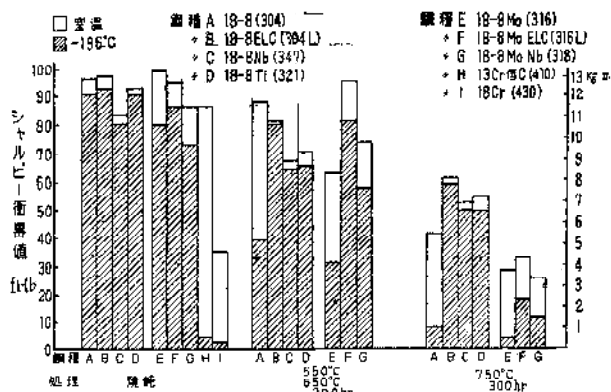
るので、耐蝕性の場合と同様の注意が望ましいのである。炭化物及びシグマ相の比較的析出し易い 25-12 (sus 42, AISI 310), 25-20 Nb (AISI 310 Nb), 22-12 (sus 41, AISI 309), 22-12 Nb (AISI 309 Nb), 18-12 (sus 32, AISI 316), 18-8 HC (sus 40, AISI 302) 等は使用に当たり応力除去熱処理後とか溶接部に関して特に注意を払う必要がある。

2) 耐蝕性

ステンレス鋼の利用価値は秀れた耐蝕性にあることはいうまでもないが、耐蝕性というものは腐蝕環境に相対的なものであり、腐蝕環境を考慮しない一般耐蝕性という概念で鋼種の優劣を論ずることは出来ない。従つて腐蝕環境に相応した鋼種を選択して、その特性を充分発揮出来るような設計、加工を加えるべきである。耐蝕性としてクローム系ステンレス鋼より18-8ステンレス鋼が高級であることは論を待たないが、これも決してオールマイティのものではない。ここにわれわれの遭遇する特に18-8ステンレス鋼の腐蝕並びにその対策について述べることにする。

i) 全面腐蝕 (General Corrosion)

これはステンレス鋼の液或はガスに接触する場所が全



第3図 各種ステンレス鋼の室温および-196°Cにおける衝撃値に及ぼす処理温度の影響

第2表 低温工業の実例

操 作 の 種 類	作業温度 (°C)
石油精製におけるプロパン脱蠟	-40
血漿の冷凍乾燥	-40
ペニシンの冷凍乾燥	-40~-90
塩素の液化	-55
石油精製における亜硫酸ガス脱蠟	-60
亜酸化窒素の精製	-90
工具鋼のサブゼロ処理	-90
人造ゴムの製造	-100
天然ガスの液化	-160
コークス炉のガスからのエチレンの分離	-190
液体空気の製造	-190
天然ガスからのヘリウムの抽出	-220

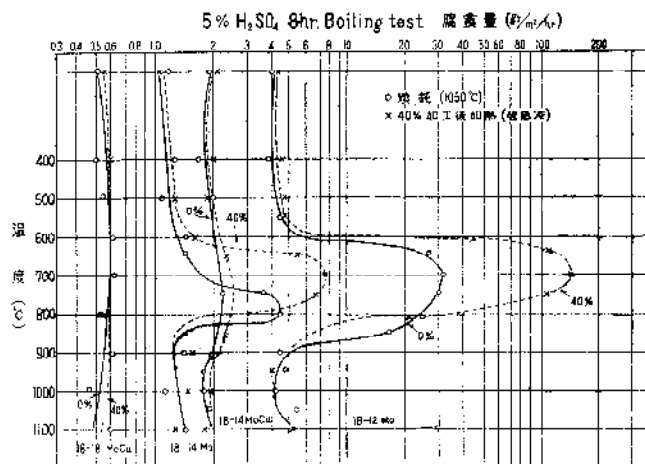
面にわたつて腐蝕される現象である。ステンレス鋼は元来硝酸のような強酸化性の酸に対して耐蝕性はあるが、稀硫酸、酢酸のような還元性酸には耐蝕性は充分でない。この点を改善するためニッケルを増加し、モリブデン銅、珪素が加えられた鋼種が使用される。ステンレス鋼表面の不活性皮膜を破壊する作用のあるものが腐蝕を促進する原因となり、皮膜形成を助長するものが腐蝕抑制作用の原因となる訳で、前者には稀硫酸、稀塩酸、酢酸、隣酸、蓚酸等、後者には硝酸等がある。

ii) 粒界腐蝕 (Intergranular Corrosion)

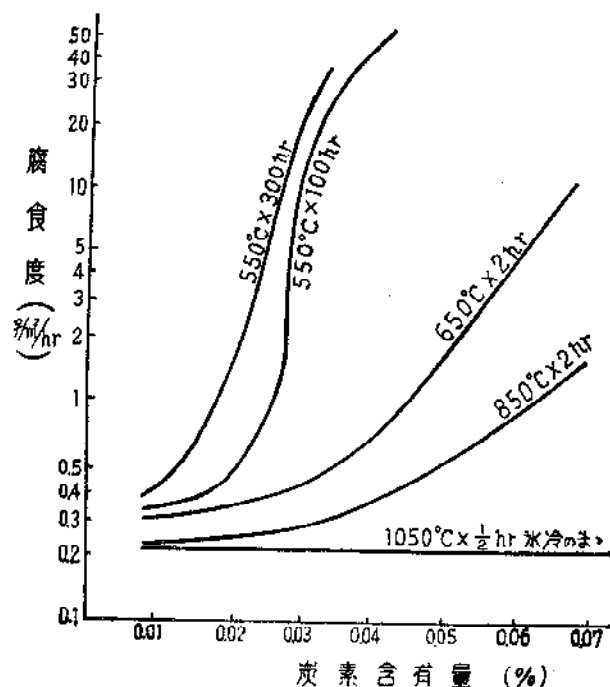
18-8ステンレス鋼にては 500°C~850°C 特に 650°C~700°C の温度において結晶粒界へのクローム炭化物の析出があり、その結晶粒界から腐蝕したり脆化したりする現象であり、熱間加工や溶接等の熱影響を受けたものは起り易い。

この対策として、1050°C の高温から急冷して炭化物をオーステナイトに固溶させ、均一の組織に戻すか、また炭素含有量を減少させた鋼種や、安定炭化物にするためニオブウム或はチタンを添加した鋼種を使用することである。

一般にごく短時間の熱影響しか受けない溶接作業のよ



第5図 各種18—8ステンレス鋼の熱処理温度と耐蝕性の関係。



第6図 18—8ステンレス鋼の炭素含有量と沸騰65%硝酸による腐蝕度の関係。



第7図 腐蝕の諸形態

うな場合には、炭素0.03%以下の低炭素ステンレス鋼で充分であり、溶接されるものの肉厚が薄ければそれだけ熱影響も少ないから、これより炭素の高いものでも安全である。またチタンやニオブウムによる安定化ステンレス鋼は更に苛酷な熱影響に対しても安定である。

第5図に各種ステンレス鋼の熱処理温度と耐蝕性の関係を、第6図に18—8ステンレス鋼の炭素含有量と沸騰65%硝酸に依る腐蝕の関係を示した。

iii) 孔蝕 (Pitting Corrosion)

ステンレス鋼製品にしばしば現われるものに孔蝕がある。いわゆるピッティングといわれるもので、1mm前後から大は数mmに及ぶ穿孔性の腐蝕である。これは不動態皮膜が局部的に侵かされ、その形状が孔ないし点状として生ずるものであつて、表面のきわめて僅かの面積にのみ生じ他の部分は殆んど腐蝕されないのが通例である。

第7図に腐蝕の形態を分類したものを図示したが、孔蝕は図e～gのようなものをいうわけである。便宜的に孔蝕の定義として、その中が深さと同程度ないしそれよりも小さいものであるとし、境界値として、巾/深さ=4～6を巾の広い孔蝕、巾/深さ=1を中程度の孔蝕、巾/深さ=1/4を狭い孔蝕とされている。

孔蝕の起点に関しては古くより多くの説があるが、いずれの説にしろ受傷態の破れた部分は陽極となり、受傷態を保つ面積の広い陰極との間の電池作用が促進原因となるものである。

実際の腐蝕例として、① ClO_2 、 NaOCl 等の晒液中、②ブライン CaCl_2 、海水を冷却水として使用した場合、③表面に錆・ゴミ・沈着物・沈積した箇所、スケールの裏側、④材料に歪みが局部的に残つて金属の組成、粒子の偏析している場合等である。

対策として、①溶液の停滞を避ける、すなわち設計面で工夫するとか攪拌を行うなど、②液体のPHを高めアルカリ側に保つ、③溶液に適した抑制剤を使用する、④出来るだけ低温操作をする、⑤電気防蝕を行う、⑥完全に熱処理をほどこし、加工歪・析出等を除去する、⑦材料の表面を清浄に保ち、沈着物・スケールを除去する、⑧材料の表面状態を研磨仕上るとか受傷態化処理を行う、⑨材質的にはモリブデン含有の高い鋼種(例えば AISI 317等)を使用する。ただし、この場合材質のみに頼ることは困難で、上述の諸対策を併用して耐孔蝕を考慮するのが望ましい。

iv) 応力腐蝕 (Stress Corrosion)

応力腐蝕は静的な応力が残存している場合とか、或は動的な応力がかかるとき、ある種の腐蝕溶液の働きに依り発生するものであつて、全面腐蝕はほとんど起らずに、また粒界腐蝕には無関係に結晶を貫いて小割れを生

第 1 表 (A) ステンレス鋼の種

鋼 種				組 成						
	分 類	J I S	Aisi 及 び 対応合金名	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
マルテンサイト系	一般耐食 耐 熱	SUS 21	410	<0.12	<0.75	<1.00	—	12.00— 14.00	—	—
		SUS 22	403	0.12— 0.18	<0.60	<1.00	—	11.50— 13.50	—	—
		SUS 23	420	0.25— 0.40	<0.75	<1.00	—	12.00— 14.00	—	—
		SUS 37	—	0.08— 0.18	<0.60	<1.00	—	11.50— 14.00	0.30—0.60	—
		SUS 44	430	<0.20	<1.00	<1.00	1.25—2.50	15.00— 17.00	—	—
フェライト系	一般耐食 耐 熱	—	446	<0.20	<1.00	<1.50	—	23.00— 27.00	—	—
		SUS 24	430	<0.12	<0.75	<1.00	—	16.00— 18.00	—	—
		SUS 38	405	<0.08	<1.00	<1.00	—	11.50— 14.50	—	—
オーステナイト系	標準型オース	SUS 27	304	<0.08	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	18.00— 20.00	—	—
	テナイトステ	SUS 32	316	<0.08	<1.00	<2.00	10.00— 14.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	—
	ンレス鋼	SUS 35	—	<0.08	<1.00	<2.00	10.00— 14.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	1.50—2.50
	耐粒界腐食オ	SUS 28	304L	<0.03	<1.00	<2.00	9.00— 12.00	18.00— 20.00	—	—
		SUS 29	321	<0.08	<1.00	<2.00	9.00— 12.00	17.00— 19.00	—	—
		SUS 43	347	<0.08	<1.00	<2.00	10.00— 12.00	17.00— 19.00	—	—
		SUS 33	316L	<0.03	<1.00	<2.00	12.00— 16.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	—
		ステンレス鋼	(NAS84X)	<0.08	<1.00	<2.00	12.00— 16.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	—
	ステンレス鋼	SUS 36	—	<0.03	<1.00	<2.00	12.00— 16.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	1.50—2.50
		快削性オース	(NAS 8F)	<0.15	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	17.00— 19.00	—	—
		テナイトステ	303(Se)	<0.15	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	17.00— 19.00	—	—
	冷間成型性オ	(NAS 10)	305	<0.12	<1.00	<2.00	10.00— 13.00	17.00— 19.00	—	—
		ーステナイト	(NAS10M)	<0.08	<0.50	<2.00	14.00— 16.00	11.00— 13.00	—	—
	高ニッケル高	(NAS 144M)	—	<0.10	<1.00	<2.00	14.00— 16.00	16.00— 18.00	4.00—5.50	—
		(NAS 175)	—	<0.10	<1.00	<2.00	21.00— 23.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	1.50—2.50
		(NAS 175M)	—	<0.10	<1.00	<2.00	19.00— 21.00	9.00— 11.00	3.75—4.25	3.00—3.25
		(NAS 225)	ウオーサイト	<0.07	2.75— 4.25	<2.00	23.50— 25.50	19.00— 21.00	2.75—3.75	1.50—2.00
		(NAS 305)	カーペンター	<0.07	<1.50	<2.00	28.00— 31.00	19.00— 21.00	2.00—3.00	2.75—3.75
ニッケル基高 級耐食合金		(NAS60-2)	ハステロイ B	<0.12	<1.00	<1.00	Bal	<1.00	26.00— 30.00	—
		(NAS60-3)	ハステロイ C	<0.15	<1.00	<1.00	Bal	15.50— 17.50	16.00— 18.00	W3.75—4.75
		(NAS 605)	イリウム R	<0.08	<0.60	<0.60	Bal	20.0—22.0	4.0—6.0	2.0—3.0
		(NASC605)	イリウム G	0.15— 0.25	<1.00	<1.00	Bal	21.5—23.5	5.0—7.0	5.0—7.0

類・特性・及び用途

(%)	供給形状						特 性	用 途
そ の 他	板	管	線	棒	鍛造物	鋳物		
	○	○	○	○	○	○	一般用熱処理可能 機械的性質改善，タービン用 ブリネルカタサ約 500 迄硬化 する事が出来る 耐熱，高温強度大 熱処理によつて高い機械的性質を得る．	機械部品，ポンプシャフト用等 蒸気タービンのブレードその他 高応力を受ける部品 高カタサ部品用 高圧高温用タービン翼材料 高強度を要する機械部品
N < 0.25	○	○	○	○	○		耐酸化性，耐硫黄，良好 410 よりも 耐食性耐熱性がすぐれている	耐酸化，高温用材料 410 より高級用
A 10.10 - 0.30	○	○	○	○	○		溶接性良し，一般用非硬化	溶接用
—	○	○	○	*○	○	○	硝酸等の強酸化性酸，一般耐食，耐熱	車輻，建築，厨房，酪農，食品，染色
—	○	○	○	*○	○	○	稀硫酸，亜硫酸，酢酸及び各種有機酸耐孔食等	火薬，航空機，肥料，精油工業，各種化学
—	○	○	○	*○	○	○	稀硫酸等の非酸化性酸 SUS32 より良	工業原子炉等
—	○	○		*○			SUS 21+耐粒界腐食性	同上，特に溶接構造物
Ti > C × 4	○	○		*○	○		同 上	
Nb + Ta > C × 10	○	○		*○	○	○	同 上	
—	○	○		*○			SUS 32+耐粒界腐食性	
Nb + Ta > C × 10	○	○		*○	○	○	同 上	
—	○	○		*○			SUS 35+耐粒界腐食性	
P < 0.20, S < 0.06, Se > 0.15			○	○			耐食性は SUS21 よりやや劣る	ボルト，ナット，シャフト，ネジ等自動旋盤による切削物
—			○	○			耐食性は SUS 21 にはほぼ同じ	高度の耐食性を要する化学工業用部品各種
—			○	○			酸化性環境における耐食性は SUS 21 に劣る	
—	○			*○	○	○	酢酸，塩化物等	
—	○	○		*○	○	○	硫酸，磷酸等非酸化性酸アルカリ	
—	○			○	○	○	塩酸，硫酸等非酸化性酸	
—				○	○	○	硫酸，焼酸等非酸化性酸	
—	○	○		*○	○	○	同 上	
Fe 4.00—7.00	○			*○	○	○	塩酸，硫酸，磷酸，塩化物等	工業用部品各種
Fe 4.50—7.00	○			*○	○	○	同上，但し特に酸化剤に対し良	
Fe 6.0—8.0	○			○	○		硫酸，磷酸，各種混酸，塩類等	
Fe 5.0—7.0						○	同 上	

第 1 表 (B) ステンレス鋼の種

鋼 種				組 成						
	分 類	J I S	AiSi 及 び 対応合金名	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
オ ー ス テ ン ス	高カステンレ ス鋼	SUS 39	301	<0.12	<1.00	<2.00	6.50— 8.00	17.00— 18.00	—	—
		(NAS 7A)	17-7PH	<0.09	<1.00	<1.00	6.50— 7.75	16.00— 18.00	—	—
		(NA S8G)	(302 HC)	<0.20	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	17.00— 19.00	—	—
		(NAS 83EX)	19-9 DL	0.28— 0.35	0.30— 0.80	0.75— 1.50	8.00— 11.00	18.00— 21.00	1.00—1.75	W1.00—1.75
		(NAS 46)	17-4 PH	<0.07	<1.00	<1.00	3.00— 5.00	15.50— 17.50	—	3.00—5.00
	高 温 耐 酸 化 性 オ ー ス テ ナ イ ト ス テ レ ン 鋼 及 び ニ ッ ケ ル 基 合 金	(NAS 12)	309	<0.20	<1.00	<2.00	12.00— 15.00	22.00— 24.00	—	—
		SEH 5	310	<0.25	<1.50	<2.00	19.00— 22.00	24.00— 26.00	—	—
		(NAS 33)	330	<0.25	<1.00	<2.00	34.00— 37.00	15.00— 17.00	—	—
		(NAS70-1)	インコネル	<0.15	<0.50	<1.00	>72.0	14.00— 17.00	—	0.50
		SCH 12	ACI HH	0.20— 0.50	<2.00	<2.00	11.00— 14.00	24.00— 28.00	—	—
SCH 15		ACI HT	0.35— 0.75	<2.00	<2.00	33.00— 37.00	14.00— 17.00	—	—	
テ ナ イ ト ス テ ン レ ス 鋼 お よ び 超 合 金	高 温 抗 ク リ ー ブ 性 オ ー ス テ ナ イ ト ス テ ン レ ス 鋼	(NAS84X)	318	<0.08	<1.00	<2.00	12.00— 16.00	17.00— 19.00	1.75—2.75	—
		(NA S83EX)	19-9DL	0.28— 0.35	0.30— 0.80	0.75— 1.00	8.00— 11.00	18.00— 21.00	1.00—1.75	W1.00—1.75
		(NAS 25)	16-25-6	<0.12	<1.00	<2.00	24.00— 27.00	15.00— 17.00	5.50—7.00	—
		(NASH25M)	A 286	<0.08	<1.00	<2.00	24.00— 28.00	13.50— 16.00	—	—
		(NASH 30E)	インコロイ T	<0.10	<1.00	<1.50	30.0— 34.0	19.00— 22.00	1.00—1.50	<0.50
	ニ ッ ケ ル 鋼 お よ び 超 合 金	(NASH40-1)	LCN 155	0.08— 0.16	<1.00	<2.00	19.00— 21.00	20.00— 22.50	2.50—3.50	Co18.50 21.00
		(NASH60-2)	ハステロイ B	<0.12	<1.00	<1.00	Bal	—	2.60—3.00	—
		(NASH60-3)	ハステロイ C	<0.08	<1.00	<1.00	Bal	14.50— 16.50	16.00— 17.00	W3.00—4.50
		(NASH60-4)	インコネル X	<0.08	<0.50	<1.00	Bal	14.00— 16.00	A10.4— 1.0	Fe 5.0—9.0
		(NASH80)	S 816	0.32— 0.42	<1.00	<2.00	19.00— 21.00	19.00— 21.00	3.50—4.50	Co >40.0
系	低 温 用	(2.5% Ni 鋼)	—	<0.20	0.15— 0.30	<0.80	2.20— 2.60	—	—	—
		(3.5% Ni 鋼)	—	<0.20	0.15— 0.30	<0.80	3.25— 3.75	—	—	—
		(5% Ni 鋼)	—	<0.19	0.18— 0.37	0.20— 0.64	4.68— 5.32	—	—	—
		(9% Ni 鋼)	—	<0.13	0.15— 0.32	<0.80	8.50— 9.50	—	—	—
	ニッケル鋼	(NA S8F)	303(Se)	<0.15	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	17.00— 19.00	—	—
		SUS 27	304	<0.08	<1.00	<2.00	8.00— 11.00	18.00— 20.00	—	—
		SUS 28	304 L	<0.03	<1.00	<2.00	9.00— 12.00	18.00— 20.00	—	—

(注) JIS 規格は1959年改正版による。JIS に規定なきものは NAS (日本冶金工業規格) にて示す
供給形状の棒覧の〔※印〕は溶接棒が供給されるものである

類 ・ 特 性 ・ 及 び 用 途

(%)	供給形状						特　性	用　　　途
そ の 他	鋁	管	線	棒	鍛造物	铸件		
— 0.75-1.50 — Ti0.10-0.35Nb +Ta0.20-0.60 Nb + Ta 0.25+0.45	○ ○		○ ○				耐食性はSUS21よりやや劣る 同 上 同 上 耐食性は SUS32 にやや劣る { SUS21より酸化性環境ではや や劣るが非酸化性環境では若 干優る。耐磨耗、硬けHB410	{ 建築車両，航空機械体，構造材化学機械，精密計器等，バネ材 船用非磁性構造材，ポンプ，シャフト円心分離機等 パルプ，リハイナー，ポンプシャフト等
— — — Fe 6.0-9.0 — —	○ ○ ○ ○	○ ○		*○ *○ ○ ○	○ ○ ○ ○		耐熱性 SUS27 より優る 耐熱性 SUS12 より優る 耐熱性 NAS12 にほぼ同じ 耐熱性 NAS33 にほぼ同じ	ボイラー用加熱管，焼鈍ボックス高温ガス反応塔，加熱炉構造部品
Nb+Ta>C×10 Ti0.10-0.35, Nb +Ta0.25-0.60 N0.10-0.20 Ti 1.75-2.25 Ti 0.75-1.50 Nb+Ta0.40-0.65 Al0.25-0.50, Fe4.0-7.0 V0.35, Fe4.0-7.0 Nb0.70-1.20, Ti2.25-2.75 W3.50-4.50, Nb3. 50-4.50, Fe<5.0	○ ○	○		*○ ○ ○ ○ *○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		800°C以下でクリーブ強度に優れている	タービンシャフト，熱交換器，航空機用エンジン，ガスタービン部品
— — — — P S Se <0.20<0.06<0.15 — —	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○		* *○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		常温以下の低温度で脱水しにくい	— 75°F迄 低温化学工業等 —150°F迄 " 同 上 " —320°F迄 " —300°F迄 " —325°F以下迄 " 同 上 "

ずる現象である。割れの形状は一般に微細な割れが多数発生し顕微鏡的には割れ分岐が多く見られるのが普通である。

実際の腐蝕例として、①亜硫酸パルプ溶液・染料液・原油・高温苛性ソーダー・高温水・蒸気等であり、塩素イオンを含むものが80%以上占めている、②温度として70°C以上のものが最も多い。

この対策としては、孔蝕と同様現状にては決定的な対策はなく、不満足であるが、次の項目があげられる。①応力除去焼鈍を最終工程で行うようにする。ただしクローム炭化物の析出に依る粒界腐食を起す恐れがある時は材質的に低炭素ステンレス鋼或はニオブウム・チタン添加による炭化物安定化ステンレス鋼を使用する、②熱応力と加工歪を避けるべき適当な設計、構造を考慮する、③表面を清浄に保つようにする、④酸素の完全なる除去或は充分なる補給を行い、均一な活性状態或は均一な不活性状態にして安定せしめる必要がある、⑤出来るだけ低温操業を行う、⑥電気防蝕を行う、⑦割れは一般に引張応力を受けた箇所に多く起るとされているので、表面に圧縮応力を加えるようにする、⑧材質的には高ニッケル材料を使用する、塩化マグネシウムによる応力腐蝕試験にては比較的ニッケル含有量の高い材料が割れを生じにくい。

v) 間隙腐蝕 (Crevice Corrosion)

フランジ接合面、フィルターの重ね隅等、材料の接合面で腐蝕が起ることがある。これは接合面において酸素の供給が不足するか、溶液の濃縮による濃淡電池作用等のため局部皮膜の破壊が起り腐蝕現象を生じたものである。

対策としては、孔蝕の成因と同じともいえるので、その対策もほとんど同一と考えられるが、最も注意を必要とすることは、設計に際し、容器・配管等内部の流動部に停滞部分を生じないようにすることである。

vi) 腐蝕疲労 (Corrosion Fatigue)

繰り返し応力を受けて使用される材料は、応力の大小及び腐蝕環境に支配されて、予期しない程の短期間で割れを生じることがある。

対策としては、使用の際は応力を疲労限界内にすること及び破壊の起点となる如きノッチを作る原因をさけるようにすることである。

vii) 電蝕 (Galvanic Corrosion)

溶液中に湿気存在する状態で他の金属と接触して使用する場合、電位差によりステンレス鋼自身の腐蝕が促進されたり、他金属の腐蝕を促進させたりする。

第3表に海水中のイオン化傾向順位系列を示してあるように、液の酸化力の強弱により同じ合金との組合せでもステンレス鋼は陽極的になったり、陰極的に働いたりする。

第3表 海水中のイオン化傾向順位系列

↑	Mg (マグネシウム)	
	Mg 合金	
	Zn (亜鉛)	
	Al (アルミニウム)	
	Cd (カドミウム)	
	鋳鋼	
	4~6% Cr 鋼	
	AiSi—410	(活 性)
	AiSi—430	
	AiSi—446	
	AiSi—301	
	AiSi—302	
	AiSi—309	
	AiSi—310	
	AiSi—316	
	Pb (鉛)	
	Sn (錫)	
	Ni (ニッケル) (活性)	
	インコネル (活性)	
	ハイトロイ	
	真 鍮	
	Cu (銅)	
	青 銅	
	銅-Ni 合金	
	Ni(ニッケル)(不働態)	
	インコネル (不働態)	
	モネル	
	AiSi—410	(不働態)
	AiSi—430	
	AiSi—446	
	AiSi—301	
	AiSi—302	
	AiSi—309	
	AiSi—310	
	AiSi—316	
	Ag (銀)	
	An (金)	
	Pt (白金)	
↓		

対策として、重要な箇所は溶液中に置いて異種金属を接触して使用することを避け、また絶縁等を考えることが必要である。

viii) 乾蝕 (Dry Corrosion)

以上述べた腐蝕は全て湿蝕といつて、電気化学的作用によるのに対して、乾蝕とは酸化消耗及び純化学的变化による消耗である。これは温度影響が大きな因子となる。

耐酸化性からいうと、第1表のスケール発生限度で各鋼種は使用されているのであるが、例えば乾気中の環境

では、有害なガスの存在 (SO_2 遊離, S, H_2S 等) やガスの組成が酸化性であるか、還元性であるかによつて使用最高温度が変つてくる。例えば、 SO_2 含有は雰囲気酸化性の場合には害が少なく、還元性の場合には腐蝕を促進するので、使用温度が制限される。

3) 耐 熱 性

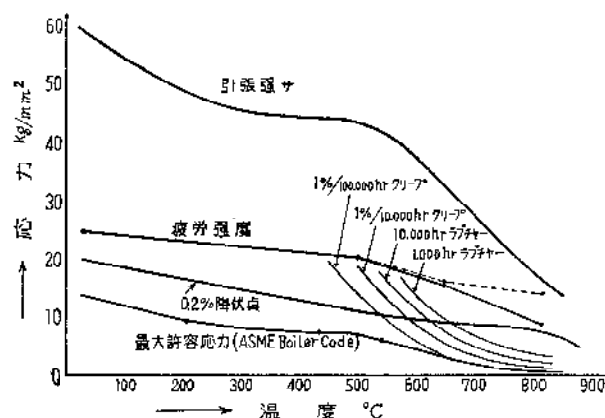
ステンレス鋼は耐蝕性のみならず優れた耐熱性をも有している。耐酸化性の見地より言うと、スケール発生温度限界は高く、特に含有成分ではクロームが最も有効で 1000°C 以上では 20 % 以上の添加が必要となる。アルミニウム、珪素等も耐酸化性を増すが、マンガン・タングステン・ニオブウム・チタン等は効果が殆んどない。モリブデンは酸化性の酸化物を作り、却つて酸化を進行する傾向がある。

また高温強度特性もすぐれ、18—8 ステンレス鋼にては短時間加熱の高温引張試験・衝撃試験は常温の機械的性質が鋼種により 差がないのと同様に各鋼種共差がない。

また比較的高温ではクリープ、ラプチュアー強度は耐力より低く、設計上の許容応力を支配する。ニッケルの増加、モリブデンの添加、または炭化物安定元素のチタン・ニオブウム添加により改善される。

疲労強度もまた高温程低下するが、疲労強度の温度依存性はクリープ、ラプチュアー強度、短時間引張強度の何れよりも小さく、従つて或る温度以下の比較的低温側では設計上重要である。

高温疲労強度は他の強度特性と同様にモリブデン・チタン・ニオブウム等の添加により向上する。第 8 図に一例としてわれわれの得た普通の 18—8 (AISI 304) の高温強度特性と ASME Boiler Code に示された同鋼種の許容応力とを比較示した。この強度特性の図には示されないが、材質選定の際に考慮すべき問題として、高温にさらされている間の時効現象と腐蝕の問題がある。



第 8 図 18—8 ステンレス鋼 (AISI 304) の強度と温度との関係。

特に期待寿命の長い圧力容器や機械部品材料としては重要である。

4) 溶 接 性

溶接性の最も良好なものは 18—8 ステンレス鋼で、次に溶接性の良いのはフェライト系ステンレス鋼であるが種々の熱感受性のため脆化が起り溶接割れを起す欠点がある。マルテンサイト系ステンレス鋼は溶接性は悪く、溶接に当つては充分な注意が必要である。18—8 ステンレス鋼にても高合金ステンレス鋼やニオブウム入りは比較的溶接割れを起し易いので注意を要する。

溶接による劣化としては、次のものがあげられる。

i) 475°C 脆性

高クローム・ステンレス鋼に多い。この欠点は 600°C 以上の加熱により消失する。

ii) 炭化物の粒界析出による耐蝕性の劣化

耐蝕性の項で説明してある通りである。

iii) シグマ相析出による脆化

高クローム・ステンレス鋼及び含モリブデンステンレス鋼に多く、 $500^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ に加熱されると脆化がおこる。これは 900°C 以上より急冷することにより除ける。

iv) 結晶粒粗大による脆化

主としてフェライト系ステンレス鋼の 900°C 以上の温度に上昇した場所 (溶接二番) に脆化がおこる。これは溶接二番の結晶粒粗大化を極力少なくするように注意するしかない。

v) 焼入硬化性

マルテンサイト系ステンレス鋼にては、溶接の際硬化し溶接割れを生ずる。これは予熱や溶接直後に焼鈍を行う等の特別の注意が必要である。

18—8 ステンレス鋼の溶接は予熱の必要はない。溶接後の熱処理は粒界腐蝕に対する耐蝕性の改善と残留応力の除去を目的とする場合にのみ必要である。

また軟鋼やフェライト系ステンレス鋼との溶接にも、18—8 ステンレス鋼の溶接棒が溶着メタルの良い靱性のために用いられる。18—8 ステンレス鋼は多くの種類があるから、溶接棒の選定も目的とする特性を失わないように選ばねばならない。第 4 表は 18—8 ステンレス鋼溶接棒の種別を示したものである。

溶接棒の品種を決定する際に耐蝕性のみを考慮して、作業性や割れ感受性を無視すると、実際の作業に際して困難を生じる。

5) その他の物理的機械的性質

第 5 表にステンレス鋼の物理的機械的性質を示す。

本表において注目すべき点は 18—8 ステンレス鋼は電

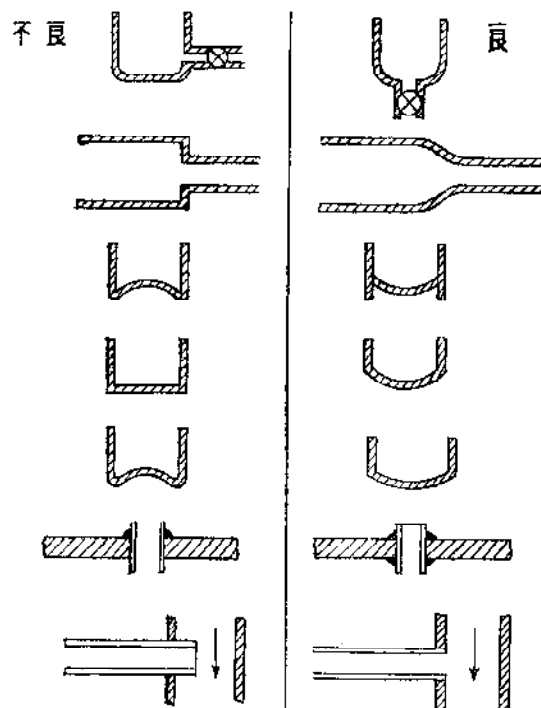
気抵抗が大きく、且熱膨張係数が大きく熱伝導率が悪い、このことは溶接歪が大きいことを意味する。また機械的性質において引張強さが高いのに拘らず耐力・弾性限・比例限が極めて低いから、微小の永久歪を問題にする構造物は注意を要する。シャルピー衝撃値が高い、即ち靱性が大きいので被削性は悪い。そのため切削加工に特別の配慮をはらう必要がある。尚18-8ステンレス鋼は一般に非磁性である。

4. ステンレス鋼使用上の注意事項

以上ステンレス鋼の種類及び特質並びにその対策について述べて来たが、最後に使用上の注意事項を二、三付記する。

1) 設計上の考慮

i) 清浄にし易いような構造に設計する。例えば、容器・配管内等に無用の沈積物が生じないようにする。即ち、第9図に示す如く、容器の角やパイプのバンド部は大きな径をもたせ、無用なものが蓄積されないようにすることである。



第9図 設計構造に対する注意

第4表 ステンレス鋼溶接棒の種類及び用途

鋼 種		鋼 種 内 訳	用 途
J I S	AWS-ASTM		
D 308	E 308	19—9	301, 302, 302B, 303, 304, 305 及び 308 用
D 308L	E 308L	19—9ELC	304L 用
D 309	E 309	22—12	309, ステンレスクラッド鋼及び硬化型鋼の溶接後の熱処理不能の個所, 18-8 ステンレス鋼と軟鋼の溶接
—	E 309Cb	22—19Nb	309Cb, 347 クラッド鋼, 347 と軟鋼の溶接
D 310	E 310	25—20	310, ステンレスクラッド鋼及び硬化型鋼の溶接後の熱処理不能の個所, 18-8 ステンレス鋼と炭素鋼の溶接
—	E 310Cb	25—20Nb	310Cb, 347 クラッド鋼, 347 と軟鋼及焼入性大なる炭素鋼の溶接
—	E 310Mo	25—20Mo	316, 316 の高温強度を必要とする場所, 316 クラッド鋼, 316 と炭素鋼の溶接
D 316	E 316	18—12Mo	316 用
D 316	E 316L	18—12MoELC	316L 用
—	(316Cb)	18—12MoNb	316Cb 及び高温で使用する場合高合金鋼の粒界炭化物析出を避けるべき個所
D 317	E 317	19—14Mo	317 用
—	E 330	15—30	330 及び 15-35 (Type HT) 鋳物の 1040°C 迄の耐熱性を要する個所
D 347	E 347	19—9Nb	347 及び 321 用及び溶接部が 435°C ~ 815°C の温度に於いて使用される個所
(NASW 305)	(No 20)	20—30MoCu	20Cr-30Ni-3Mo-3Cu (NAS305 カーベンター-20) 用
—	E 410	13Cr	410 用
—	E 430	18Cr	430 用

第 5 表 ステンレス鋼の物理的機械的性質

鋼 種			熱処理 状 態	常 温 機 械 的 性 質						高 温	
分 類	JIS	Ai Si	焼鈍温度 (焼入) (焼戻) °C	降伏点 0.2% kg/mm ²	引張強サ kg/mm ²	伸び (G L=50m m) %	ブリネル カタサ HB	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm mm(鋼)	エリクセ ン値 (1 mm鋼)	引張強サ kg/mm ²	
										300°C	500°C
マル テン サイト 系	SUS21	410	800 (980 700)	35 55	55 75	35 28	165 220	12 12	8.5 —	— 51.0	— 35.2
	SUS23	420	780 (980 650)	50 70	75 90	27 23	220 270	8 8	— —	— —	— —
	SUS37	—	790 (980 680)	35 57	55 75	34 23	165 217	11 11	8.5 —	— —	— —
フェラ イト系	SUS24	430	820	35	50	35	165	—	8.5	42.5	30.5
オ ー ス テ ナ イト 系	SUS28	304 L	1,050	20	54	60	135	25	13.5	—	—
	SUS27	304	1,050	21	59	60	145	25	12	51.3	43.2
	SUS32	316	1,050	23	57	60	140	25	12	51.8	44.0
	SUS35	(NAS 85S)	1,050	23	57	55	140	25	11	—	—
	SUS29	321	1,000	23	59	55	145	25	12	42.8	39.3
	SUS43	347	1,050	23	59	55	145	25	12	47.7	46.6
	—	318	1,050	23	57	50	140	20	11	55.5	50.0
	SUS41	309	1,050	25	60	50	155	25	12	53.0	47.5
	SUS42	310	1,050	28	60	50	155	25	12	53.5	48.0

機 械 的 性 質				物 理 的 性 質							
ラプチャー強度 (1,000hr) kg/mm ²		クリープ強度 (1% 10,000hr) kg/mm ²		比 重	溶融温度 °C	スケール 発生温度 °C	弾性ヤン グ率 kg/mm ²	膨張原数 0~100 °C × 10 ⁻⁶	熱伝導率 20°C kcal/ m ² hr °C	比電気抵 抗 20°C Ω cm × 10 ⁻⁶	磁気的性 質 導磁率 C.G.S.
500°C	800°C	500°C	800°C								
25.0	—	11.0	—	7.75	1470~1520	800	21,000	10.0	70.2	57	強磁性
—	—	—	—	7.75	1300~1480	800	"	"	"	"	"
—	—	—	—	7.75	1450~1510	840	"	"	70.0	—	"
23.0	3.5	8.0	—	7.75	1430~1500	850	20,500	10.4	73.7	60	"
—	—	—	—	7.9	1400~1440	860	19,700	17.3	46.0	72	<1.02
31.0	3.0	14.5	1.0	7.9	"	860	"	"	"	"	"
36.0	6.0	18.0	1.9	8.0	"	880	19,500	16.2	45.9	74	"
—	—	—	—	8.0	"	"	"	16.6	"	"	"
30.0	3.0	16.0	1.0	7.9	1430~1460	860	"	16.7	45.4	72	"
35.0	3.5	17.0	1.2	7.9	"	"	"	16.6	"	73	"
—	4.2	—	1:4	8.0	"	880	"	16.8	"	74	"
30.0	4.0	15.0	1.0	7.9	1370~1400	1050	20,300	15.0	39.0	78	1.005
26.0	2.8	16.0	1.0	7.9	1400~1430	1100	20,000	14.4	"	"	"

生産と技術

ii) 流線状の設計を行い、出来る限り鋭角部分避け、細隙部分のない構造とし、溶液の流動が無理なく緩やかであるようにする。しかし、流動が激し過ぎる場合はエロージョンの原因となる怖れがあるから、流動速度は低い方が望ましい。

iii) 濃い溶液を薄い液に注ぐ時は出来るだけ器壁から離れた容器の中央へ注がれるよう設計する。

2) 加工上の考慮

材料が適材であり設計が良くても、加工工程で設計者の知らない加工なり、溶接なり、熱処理なりが行なわれそれが材料に適した方法でなければ何にもならないのである。従つて、加工させるときはしつかりした立派な工作規準・熱処理基準を持つているような加工メーカーを選ぶべきである。

3) 総合判断が大切である

溶接を必要とする構造物に極めて溶接性の悪い材料や溶接後の材質的な劣化の著しい材料は推奨出来ない。

また耐熱用材料に対して高温強度のみを考えて高温腐蝕を無視して選んではならない。即ち、一つの特性のみでなく、総合的判断の上、目的とする用途に合致する材料を選ぶべきである。

4) 使用経験が大事である

使用経験を基として材料を選定し加工すれば、応力除去焼鈍を考慮しないで応力腐蝕割れを起す如き誤りを避けることが出来る。使用環境中における実際例こそ、ステンレス鋼使用上の貴重なデータである。

ステンレス鋼製造者には実際の使用条件に対する十分なデーターは少ない。使用者は出来る限りステンレス鋼の使用実例を提供して頂き度い。そして、設計者・加工者、使用者・製造者一体の協力があつてこそ、ステンレス鋼の発展があり、化学工業進歩の大きな原動力となる。