

# カーペンター 20Cb-3 の溶接技術

## Welding Technology of Carpenter 20Cb-3

化工機事業部 技術部  
 宮崎 公 志  
 Koshi Miyazaki  
 (化)第1製造部 播磨工場  
 渡辺 和 義  
 Kazuyoshi Watanabe

Carpenter 20Cb-3 is useful for chemical industries, because of their excellent corrosion resistance. We studied susceptibility to hot cracking of Carpenter 20Cb-3, using method of Circular groove test, vareststraint test and overlay test by large ring specimen.

Then we found that full austenitic structure, low Nb Content and multi layer are responsible to the hot cracking. Welding rod having low Nb content is to be selected for welding Carpenter 20Cb-3's successfully, and special alloy should be used for first layer to build up defectless overlays.

This paper described the technology recently completed for the welding of carpenter 20Cb-3 as well as its characteristics of metallurgical and corrosion resistance.

### まえがき

カーペンター 20Cb-3 は、その耐食性、耐熱性を利用して各種化学装置（無機化学、有機化学、石油精製など）に用いられている。本合金は鉄鋼におけるオーステナイトと同様な結晶構造（面心立方構造、FCC）を示し、溶接金属は高温われを発生しやすく、溶接性の悪い材質とみられる。このため溶接に際しては溶接条件はもとより、溶接材料、溶接方法などを十分検討して選ぶ必要がある。次にカーペンター 20Cb-3 の性質、特長を簡単に述べ、さらにその溶接、問題点とその対策についてふれてみたい。

### 1. カーペンター 20Cb-3 の性質と特長

よく用いられる高耐食材料を第1表<sup>1)</sup>に示す。これらのうちカーペンター 20Cb-3 は高Ni オーステナイト系ステンレス鋼の一種で、本合金のマイクロ組織がフェライト相をほとんど含まないことから、完全オーステナイト系ステンレス鋼として他のステンレス鋼と区別されることがある。（第1図<sup>2)</sup>）特長として30%のNiを含んでいるため耐酸性

（耐硫酸、耐塩酸など）に極めて優れ、塩化物やほとんどの環境中において高い応力腐食割れ抵抗を示す。（第2図<sup>3)</sup>）第3図<sup>4)</sup>はしばしば材料選定のために使用されるビショップ・スターンチャートを示したが、カーペンター 20Cb-3 は塩化物を含まない酸化性酸に対して優れていることがわかる。しかし一般にステンレス鋼中のNi含有量が增大すると炭化物生成傾向が大きくなり、特に溶接部の耐粒界腐食性を低下させる。この点を改善するため本合金にはNbが添加され、耐粒界腐食性の劣化を最小限にとどめている。塩化物などによる耐孔食性は、他の完全オーステナイト系ステンレス鋼と比較し、Cr、Moの添加量あまり多くないこともありSUS316Lより若干良い程度である。（第4図<sup>5)</sup>）本合金は硫酸工業などでかなりの使用実績がある。

### 2. カーペンター 20Cb-3 の溶接

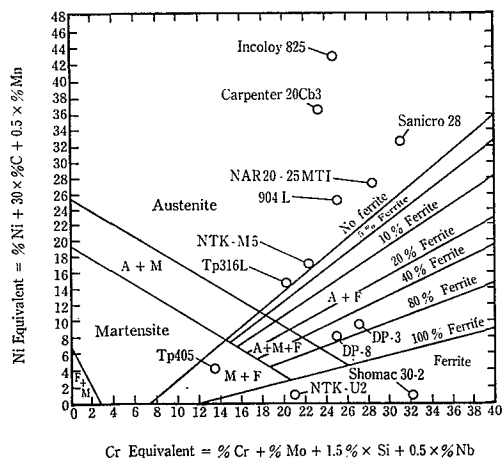
#### 2.1 溶接方法

一般に鋼の溶接に使われている溶接方法のほとんどがカーペンター 20Cb-3 にも適用される。しかしながら高温わ

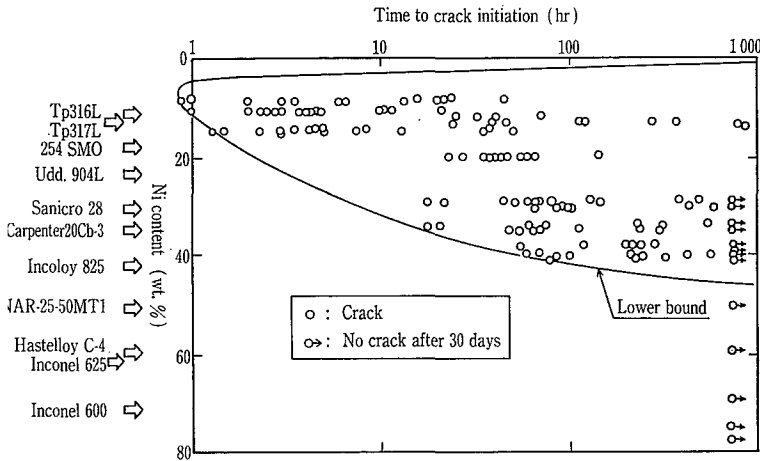
第1表 高耐食材料  
 Table 1 High corrosion resistant material

	Alloy	Trademark	Code	
			JIS	ASTM
(1)	19Cr-2Mo	Shomac 30-2	SUS444	A240 S44400
	30Cr-2Mo		SUS447J1	A240 S44700
(2)	25Cr-5Ni-Mo	(Duplex)	SUS329J1	A240 S32900
	22Cr-5Ni-Mo-N		SUS329J2L	A240 S31803
(3)	18Cr-16Ni-Mo	Avesta 254SM0	NTKM-5, NAS144MLK	SUS317J1
	20Cr-18Ni-Mo-Cu			A240 S31254
	20Cr-22Ni-Mo-Cu			NTK22A
	20Cr-25Ni-Mo			MAR-A (20-25MTi)
	20Cr-25Ni-Mo-Cu			NAR20-25LMCU
	25Cr-30Ni-Cu			B620 N08320
	20Cr-30Ni-Mo-Cu-Nb			B625 N08904
	20Cr-35Ni-Mo-Cu-Nb			
	25Cr-25NiMo			
	21Cr-33Ni-Ti			
(4)	21Cr-42Ni-Mo-Cu-Ti	Incoloy 800	NASHV30, NAR800, MA800	NCF800H
	27Cr-31Ni-Mo-Cu			NCF825
	50Ni-25Cr-Mo-Cu-Ti			B409 N08810
	72Ni-15Cr-Fe			B424 N08825
(4)	61Ni-21Cr-Mo-Nb	Inconel 600	NAR-B (25-50MTi)	B528 N06975
	Ni-16Cr-16Mo-6Fe			B168 N06600
	Ni-16Cr-15Ni-Ti			NAR600, MA600
				NAR625, MA625
		Hastelloy C-276	B443 N06625	
		Hastelloy C-4	B575 N10276	
			B575 N06455	

(1) Super ferritic stainless steel (2) Duplex stainless steel (3) Austenitic stainless steel (4) Nickel based alloy



第1図 シェフラー状態図  
 Fig. 1 Schaeffler diagram



第2図 オーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れ試験結果  
(沸騰42% MgCl<sub>2</sub>)  
Fig. 2 Stress corrosion cracking test result of austenitic stainless steels.  
(Boiled in 42% MgCl<sub>2</sub>)

れを防ぐために極力溶接入熱を低く抑え、予熱は行わず急冷することが多い。比較的好くもちられる溶接方法は次のとおりである。

### 1) 不活性ガスアーク溶接

TIGおよびMIG溶接はシールドガスとして純Ar(またはAr+He)を用いるため、ワイヤ成分がそのまま溶接金属となる。とくにAl, Tiなど酸素と結合しやすい元素の多く含まれるものには、この方法(とくにTIG溶接)がよく用いられる。溶接性、溶接部性能とも、もっとも安定し良好である。

### 2) 被覆アーク溶接

手軽なので比較的好く行われる方法であるが、酸素と結合しやすい元素が多く含まれる場合はその消耗が激しく不向きである。

### 3) サブマージアーク溶接(バンドアーク溶接を含む)

カーペンター20Cb-3は比較的高温割れを生じやすい。したがって入熱の高いサブマージアーク溶接を行う場合には入熱を抑え、予熱、パス間温度も低く抑えることが必要でありカーペンター20Cb-3には不向きである。

## 2.2 溶接材料

カーペンター20Cb-3溶接材料規格としては一般につきのようなものが利用されている。

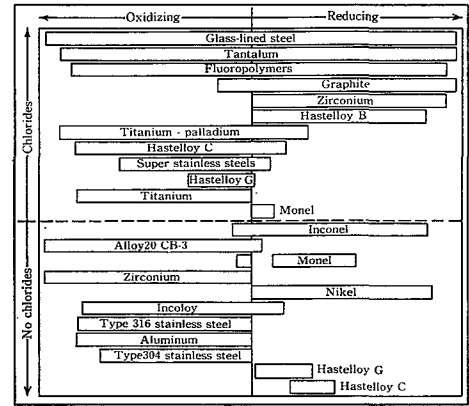
### 1) 被覆アーク溶接棒:

ASME SFA-5.4 "Specification for covered corrosion-resisting chromium and chromium-nickel steel welding electrodes"

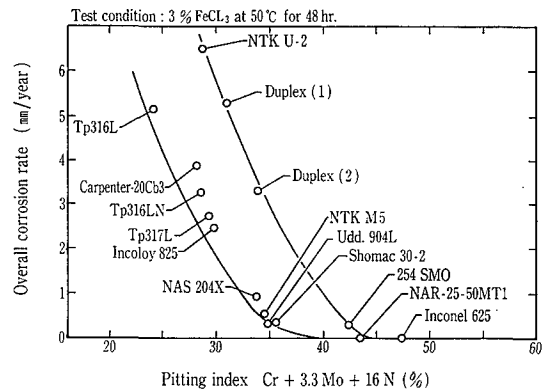
### 2) TIGおよびMIG溶接用ワイヤ:

ASME SFA-5.9 "Specification for corrosion resisting chromium and chromium nickel steel bare and composite metal cored and stranded welding electrodes and welding rods"

このうちでカーペンター20Cb-3に用いられる溶接材料は規格中のER 320およびER 320 LRである。ER 320: 通常の化学成分は20% Cr, 34% Ni, 2.5% Moおよび3.5% Cuに耐粒界腐食性を与えるためにNbが添加されている。この溶接材は硫酸および亜硫酸やそれらの塩を含んでいる厳しい環境にさらされる母材の溶接に使用さ



第3図 ビショップ・スターンの耐食表  
Fig. 3 The bishop-stern chart



第4図 孔食と孔食指数の関係  
Fig. 4 Relationship between pitting corrosion rate and pitting index.

れる。また鋳物と鋼板もPWHTなしに溶接できる。Nbを含まない場合は溶接後固溶化熱処理が必要となる。

ER 320 LR: この合金の基本組成はER 320と同様であるが、C, Si, PとSは最低のレベルに抑えCbとMnは狭い範囲にコントロールしている。これらの変化はしばしば完全オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属が遭遇する溶接金属の高温割れやマイクロ割れを減少させる。

### 2.3 溶接における問題点

カーペンター20Cb-3の高温割れ感受性が高いことはすでに述べたが、おもな原因は凝固組織が相変態のないオーステナイト鋼に近いものであることによる。高温割れの発生原因としてもっともよく知られているのは、凝固時に微量の低融点化合物あるいは低融点金属が液状フィルムとして粒界部に最後まで残り、収縮応力によって開口するものである。とくにSやPとの共晶物が低融点を示し高温割れを助長している。<sup>6)</sup> またAl, Ti, NbがNiと共晶して粒界部にr'相(Ni<sub>3</sub>AlまたはNi(Al, Ti, Nb))を析出し、この析出相がある温度域で急激に延性低下することによる場合もある。<sup>7)</sup>

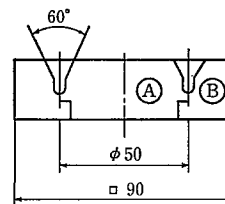
### 3. カーペンター20Cb-3の溶接施工試験

カーペンター20Cb-3は、完全オーステナイト系ステン

第 2 表 溶接材料の化学成分

Table 2 Chemical composition of welding materials

No.	Trademark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb Cb
20	Chromenar 320	0.016	0.23	0.35	0.016	0.002	3.17	33.09	19.55	2.18	0.50
5X	Weltig 305X	0.03	0.46	1.72	0.012	0.003	3.45	29.78	20.64	2.16	0.76
X3	Weltig 305X-3	0.02	0.39	2.00	0.009	0.004	3.64	34.01	20.21	2.49	0.40
LR	Weltig 320LR	0.012	0.09	1.59	0.001	0.002	3.34	33.97	20.51	2.46	0.13
30	TG-30	0.016	0.55	2.71	0.007	0.004	3.50	29.73	20.41	2.49	—
82	Inconel F.M. 82	0.02	0.07	2.91	0.002	0.061	0.03	73.17	20.38	—	2.53
25	Inconel F.M. 625	0.02	0.11	0.06	0.006	0.001	0.15	61.91	21.76	3.96	3.51
B2	Hasteloy B-2	<0.01	0.05	0.2	<0.01	<0.01	—	bal	0.5	26.7	—



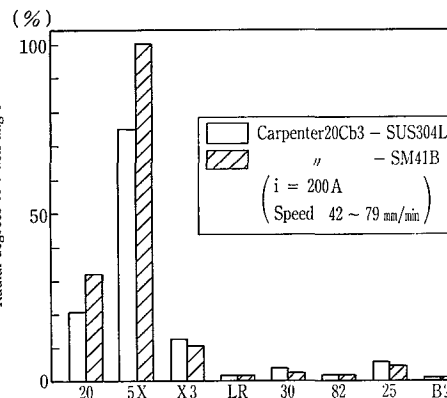
A : Carpenter 20Cb-3  
B : SUS304L, SM41B

第 5 図 円周溝溶接試験片  
Fig. 5 Circular groove test specimen dimensions

第 3 表 供試溶材の化学成分

Table 3 Chemical composition of filler metal

Trademark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo O	Nb N	Cb N
SANDVIK SANICRO28	0.017	0.036	1.66	0.015	<0.002	0.91	30.82	26.55	3.26 0.0067	0.008 0.037	
ARCOS 320LR	0.015	0.073	1.70	0.009	<0.002	3.17	33.20	20.13	2.17 0.0024	0.30 0.015	
WEL 320LR	0.018	0.42	2.02	0.007	0.002	3.47	34.37	19.88	2.43 0.0072	0.38 0.015	
WEL 305X	0.024	0.49	1.76	0.012	0.003	3.33	30.29	20.66	2.18 0.0065	0.76 0.037	
WEL 305X-3	0.031	0.40	2.03	0.009	0.003	3.16	34.34	19.88	2.30 0.0037	0.44 0.029	
TG-30	0.016	0.55	2.71	0.007	0.004	3.50	29.73	20.41	2.49 0.0078	<0.005 0.039	



第 6 図 円周溝溶接試験結果  
Fig. 6 Circular groove test results

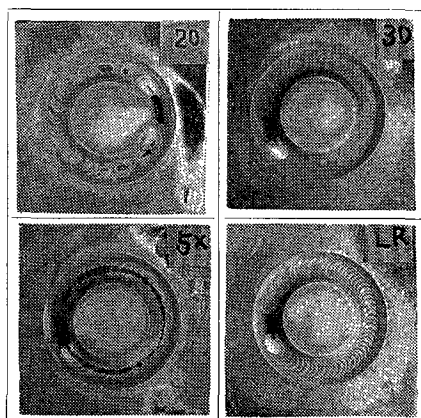
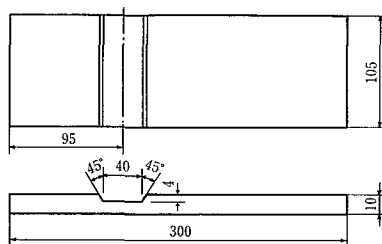


写真 1  
円周溝溶接試験後の PT 結果  
Photo. 1  
Dye penetrant test results of circular groove

レス鋼であり、かつ溶接高温割れ感受性を増す Nb を含有するため、通常のオーステナイト系ステンレス鋼に比べて、高温割れ感受性が大きい。実作業においてもカーペンター 20Cb 製ドラフトチューブの溶接割れは、苦い経験の一つに上げられている。しかしながら、最近では前述のとおり ASME, AWS など不純物元素 C, Si, P, S を低くし、Nb と Mn を狭い範囲に規制して高温割れ対策がとられている溶接材料が見られるようになり、国内メーカーからも市販されるようになった。ここではカーペンター 20Cb-3 の市販溶接材料の各種性能確認試験について紹介する。<sup>8),9)</sup>

### 3. 1 円周溝溶接試験 (サーキュラーグループテスト)

溶接材料として合金を用いた際、および異種金属の場合の溶接割れ感受性に及ぼす影響を調査するため、第 5 図



第 7 図 バレストレイン試験片素材形状  
Fig. 7 Varestraint test specimen dimensions

に示した形状および寸法の円周溝試験片を機械加工し、第 2 表に示した溶接材料を用いて各溶接条件により TIG 溶接を実施した。溶接後ビード部について、PT 試験を行い評価した試験結果を第 6 図および写真 1 に示す。Cb を含むカーペンター材はいずれも溶接金属には著しい割れの発生がみられ、Cb が少量あるいは含有されていない場合、および高 Ni 合金ではクレタ以外に割れの発生は認められない。

### 3. 2 バレストレイン試験


カーペンター 20Cb-3 を対象とした各種 TIG 溶接材料の高温割れ感受性を比較するため、溶着金属の感受性についてはトランスバレストレイン、溶着金属の HAZ の感受性については、スポットバレストレイン試験により調査した。

#### 3. 2. 1 試験内容

- 1) 供試材  
供試材はカーペンター 20Cb-3 母材および第 3 表に示す成分の TIG 棒をもちいた。
- 2) バレストレイン試験片の製作  
母材を第 7 図に示す形状に切断、溝加工を施したうえで

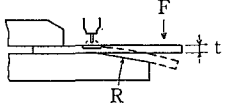
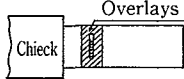
第 4 表 TIG 積層溶接条件

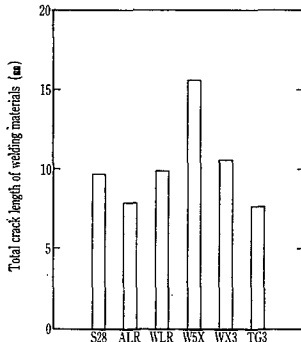
Table 4 Welding condition for varestreint test specimns

Welding current	150 A	NO. of layers 
Welding voltage	15~13V	
Welding velocity	8~10 cm/min	
Welding material	φ 3.2 mm	
Preheat temp.	No	
Interpass temp.	<20°C	

第 5 表 トランスバレストレイン試験条件

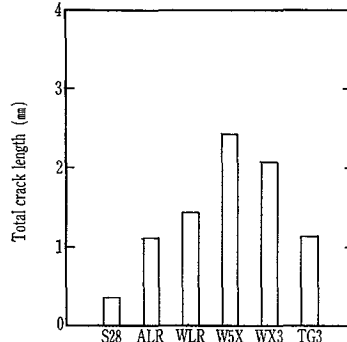
Table 5 Trans varestreint test condition

TIG welding condition	Welding current	200A	
	Welding voltage	17V	
	Welding velocity	10 cm/min	
	Welding materials	φ 3.2 mm	
Strain addition	Radius bending	400 mm	
	Strain	1.25 %	
	Strain rate	300 mm/s	
	Strain addition time	After are start 20 sec	



第 8 図 トランスバレストレインにおける溶接材料と合計割れ長さの関連

Fig. 8 Relation between welding materials and total crack length by trans varestreint test



第 9 図 スポットバレストレインにおける溶接材料と合計割れ長さの関連

Fig. 9 Relation between welding materials and total crack length by spot varestreint test

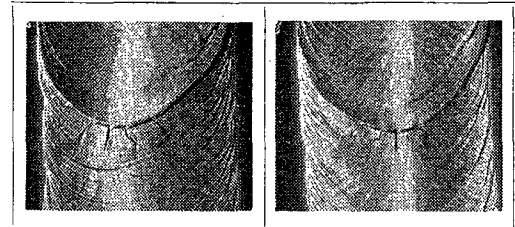


写真 2 トランスバレストレインにおける割れの外観

Photo. 2 Results of trans varestreint test

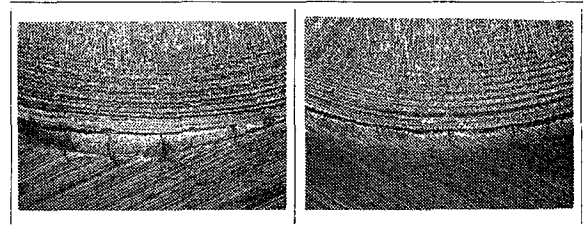


写真 3 スポットバレストレインにおける割れの外観

Photo. 3 Results of spot varestreint test

各溶接を用いて、開先部をTIG溶接で積層溶接した。溶接条件を第4表に示す。なお溶接に際し試験板の裏側を拘束した。TIG溶接終了後余盛部を研削加工し平滑にした。またトランスバレストレイン用としてはそのままのサイズで、スポットバレストレイン用としては、50 mm幅に分割してそれぞれ試験に供した。

### 3) バレストレイン試験方法

TIG溶接部の表面を平滑に研削した試験片に対し、トランスバレストレイン試験ならびにスポットバレストレイン試験を行った。トランスバレストレイン試験は、試験片におけるTIG溶接部を板幅方向にTIGアークによりメルトラン溶接する途上、溶接線直角方向に急激に曲げ歪を付加する方法であり、溶着金属の高温割れ性を評価するものである。一方スポットバレストレイン試験は、試験片におけるTIG溶接部をTIGアークで点溶融させておき、アークを消弧させる寸前に急激に所定の曲げ歪を付加する方法であり、HAZ(本試験では溶着金属HAZ)の高温割れ性を評価するものである。トランスバレストレイン試験条件を第5表に示す。

### 3. 2. 2 試験結果

#### 1) トランスバレストレイン試験結果

第8図に溶接材料と溶接金属の合計割れ長さの関連を示す。

W5X(WEL 305 X)は最大割れ長さ、合計割れ長さともに、もっとも高い値となっており、S28(SANICRO 28)は最大割れ長さにおいて、もっとも低い値となっている。

ALR(ARCOS 320 LR)は相方の割れ長さとも比較的低いレベルである。またWLR(WEL 320 LR)はALRに比べて若干高いレベルとなった。WX3(WEL305X-3)はW5Xよりは割れ長さが小さいものの、かなり高いレベルである。TG3(タセットTG-30)は最大割れ長さはとくに短くないが、合計割れ長さにおいて、もっとも低い値を示した。写真2にトランスバレストレイン試験における割れの外観を示す。

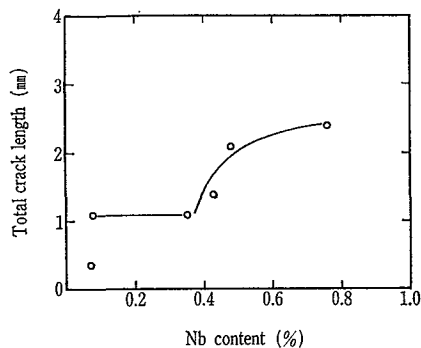
#### 2) スポットバレストレイン試験結果

第9図に溶接材料を合計割れ長さの関連を示す。合計割れ長さをもっとも高いのはW5X(WEL 305X)であり次いでWX3(WEL 305 X-3)が高くなっている。S28(SANICRO 28)はもっとも低い値となった。ALR(ARCOS 320LR)とTG3(タセットTG30)は同等であり、S28の次に低い値となっている。写真3にスポットバレストレインにおける割れの外観を示す。

#### 3) 割れ長さと溶接金属成分の関連

この種の材料の高温割れにとくに影響するといわれているNbについて、その含有量と割れとの関連を調べた。

第10図はスポットバレストレインにおける合計割れ長さ



第10図 スポットバレストレインにおける合計割れ長さとのNb含有量の関連  
**Fig. 10** Relation between total crack length and Nb content by spot varestrait test

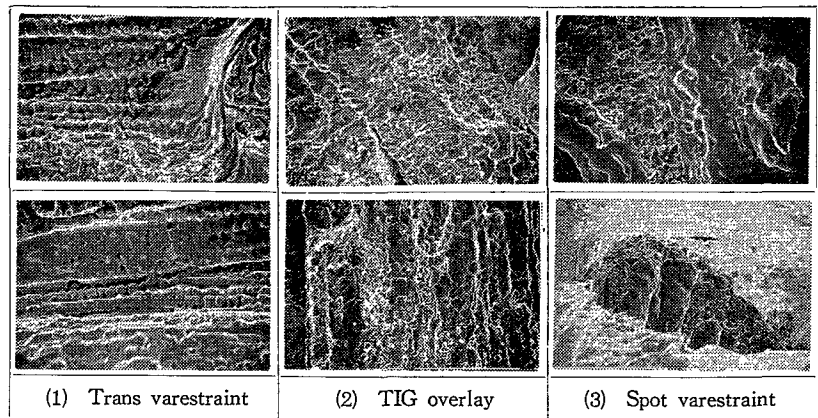
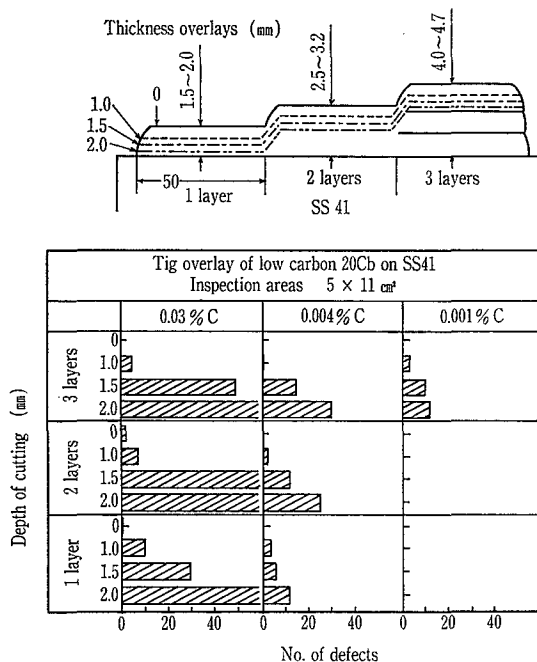


写真4 われ破面のSEM観察結果  
**Photo. 4** Experimental results of SEM fractograph( $\times 500$ )

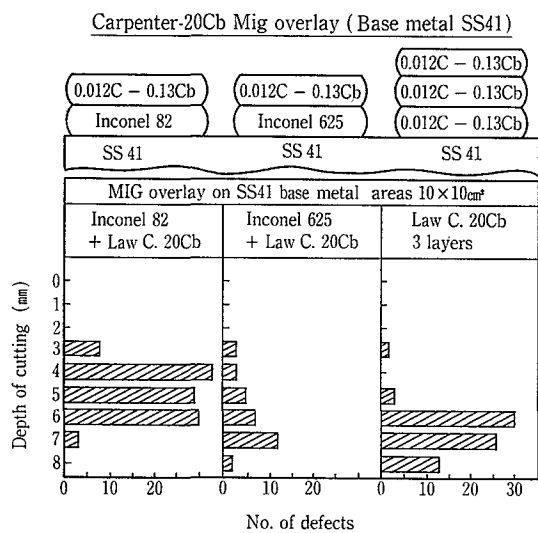


第11図 溶接欠陥に及ぼすカーペンター 20Cb 溶加棒の炭素層の影響  
**Fig. 11** Effect of carbon content in carpenter 20Cb filler metals on welding defects

と溶接金属の Nb 含有量の関連を示すものである。溶接金属の HAZ 割れについても Nb 含有量が 0.4% を越えると急激に割れ長が増加する傾向がみられる。割れに影響を及ぼす成分として、C, Si など考えられるが、本試験の範囲においては Nb がかなりの度合いで影響しているようである。

#### 4) 割れ破面の様相

写真4(1)にトランスバレストレインにおける溶着金属の高温割れ破面の SEM 写真を示す。プールに近い側では二次晶の突起がみられ、プールからはなれるにつれて、突起部の間隙が埋められたような様相を示しており、形態としては完全オーステナイト材料の凝固割れとなっている。写真4(2)は TIG 肉盛り部にみられた割れ破面の SEM 写真を示すものである。破面の様相はどちらかといえば、スポットバレストレインによるものに似ているところから、溶接金属 HAZ の液化割れが主体ではないかと考えられる。写



第12図 初層肉盛りの材質を変えてその上に低炭素 20Cb(0.01%) を肉盛りした時の欠陥発生状況  
**Fig. 12** Number of defects when low carbon 20Cb was welded on the layer of another welding materials

真4(3)はスポットバレストレインにおける HAZ の割れ破面の SEM 写真を示すものである。破面は比較的滑らかな表面状態であり、一見、二次晶のようなものにみえるが、先に示した凝固割れ破面と異なり、粒界破面状であることから液化割れと判断できる。

### 4. カーペンター 20Cb-3 の溶接施工

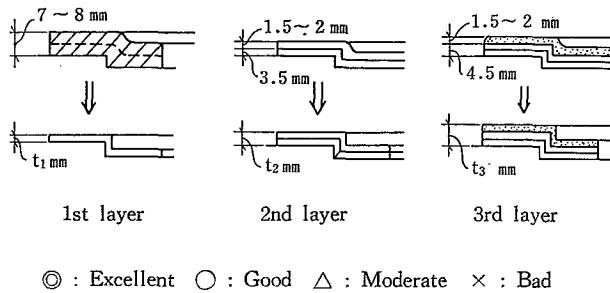
#### 4.1 共金溶接

溶接材料は、一般に母材と同様の成分系のものを選ぶ。特に耐食材料として用いられる場合には、溶接材料の選定が悪いと、溶接部が選択的に腐食することも考えられるので、異なる成分のものを用いる場合は、溶接金属が、母材に対してアノードとならないように考慮する必要がある。共金溶接では ER 320 LR で十分な性能が得られている。

#### 4.2 異種金属の溶接

異種金属の溶接には、カーペンター 20Cb-3 とステンレス鋼あるいは炭素鋼との組合せがある。ステンレス鋼と炭素鋼との異材溶接に、しばしばインコネル系の溶接材料が用いられることはよく知られている。これはインコネル溶接金属の組織が、通常の溶け込みでは面心立方格子のま

第6表 試作実験結果  
Table 6 Trial test results



No.	1st layer			2nd layer	3rd layer	Repair
	t <sub>1</sub> = 6 mm	t <sub>1</sub> = 4.5 mm	t <sub>1</sub> = 3.5 mm	t <sub>2</sub> = 4.5 mm	t <sub>3</sub> = 5.5 mm	
1	△	△	△	◎	◎	
2	△	△	△	△	◎	
3	△	△	△	◎	TIG ◎ MIG △	TIG × MIG ×
4	△	△	△	×	—	TIG × MIG ×
5	○	○	◎	△	—	
6	△	△	△	×	—	
7	◎	△	△	○	—	TIG △ MIG △
8	◎	◎	◎	◎	—	TIG ◎ MIG ◎

まで安定しており、比較的溶接性が良いことのほか、特に次のような特長があることによる。

- 1) ニッケル合金は炭素の固溶度が低く、炭素移動が生じにくいいため、長時間高温にさらされても浸炭現象が起きにくい。
- 2) インコネルの熱膨張係数は、オーステナイト系ステンレス鋼と炭素鋼の中間にあり、繰返し加熱に対して強い。したがって、比較的高温で用いられる場合や、加熱、冷却の繰り返される機器ではインコネルを溶接材料としている。異種金属の溶接でも ER320LR で十分な性能が得られている。

### 3 クラッド鋼の溶接

耐食面をカーペンター 20Cb-3 として、強度部材を主として炭素鋼としたクラッド鋼がしばしば用いられる。クラッド鋼の溶接は、一般に炭素鋼側を行った後に合せ材側を行う。クラッド鋼の合せ材は2~4 mm 程度と一般に薄い。合せ材側の溶接を行う場合、炭素鋼の希釈による合せ材表面での耐食性を防ぐためにも、溶け込みを浅くし、またできるかぎり多層で仕上げる必要がある。したがって、溶接方法としては希釈率を低く抑え、一層あたりの溶接金属の厚みを薄くすることが可能な TIG 溶接が最も適している。また溶接材料は ER320LR を用い十分な性能が得られている。

### 4 肉盛溶接

肉盛溶接後、溶接部を切削加工すると小さな欠陥が発生する。第11図<sup>10)</sup>は S S 41 母材上にカーペンター 20Cb-3 の炭素量の異なる溶接棒で1~3層肉盛りした後、表面を切削していったときの欠陥発生状況を示す。極低炭素は欠陥がかなり少ない。第12図<sup>10)</sup>は S S 41 母材にインコネルをまず均盛り、その上にカーペンター 20Cb-3 を肉盛りした後、表面から1 mm 段階で切削した時の欠陥発生状況を示す。いずれも欠陥は表面から3 mm 以上削った部分にみられ、中でもインコネル 625 を使った方が良好である。前述したバレストレイン試験片の TIG 積層溶接部の段階削り試験で、各段階における PT での割れ状欠陥数を調査した。また溶接まま、すなわち余盛付の段階では、いずれの溶接材

料および母材の HAZ とも割れ状の欠陥はみられない。次に余盛を母材面まで削除した段階および母材表面から2 mm 削り込んだ段階で PT を行った。その結果 W 5 X (WEL 305 X) の溶接金属において、きわめて多数の割れ状欠陥がみられた。また WLR (WEL 320 LR) および WX3 (WEL 305 X-3) もかなりの欠陥数が検出された。これに比べて S 28, T G 3, A L R は比較的欠陥数は少なく、とくに T G 3 (タセット T G-30) は欠陥が少なかった。これらの結果はバレストレイン試験結果とよく対応しているようである。

すなわちカーペンター 20Cb-3 の肉盛溶接には極低炭素で Nb の少ない溶接棒を使えば、切削仕上げ面の欠陥発生を阻止できる。またインコネル 625 およびカーペンター 20 (Nb なし) 材を初層に用いると良い。カーペンター 20Cb-3 の溶接ではこの再熱割れが問題で、再熱割れは溶融線近傍のオーステナイト粒界に沿って発生したマイクロ割れで、この再熱割れの機構については現在冶金学的に解明されつつある。そこで実物実体に近い大型リング状テストピースによる肉盛性能試験を実施し、第6表に示すような欠陥の発生しない肉盛溶接施工方法を確立した。<sup>11)</sup>

### むすび

筆者らはカーペンター 20Cb-3 の溶接上の問題点を究明するため、今までの習得技術と本文中で述べた基礎試験の結果を適用して、適切な溶接技術を確立しカーペンター 20Cb-3 による圧力容器の製作に対し十分な確信を得ることができた。

#### 【参考文献】

- 1) 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 30 No. 2 (1986) p. 15
- 2) Avesta: Stainless and heat resisting steels.
- 3) (株)日本製鋼所: 技術資料
- 4) C.R. Bishop, M. Stern: Trans. of the ASM, Vol. 52, 1960, p. 249.
- 5) カーペンター社カタログ
- 6) 新 成夫: 溶接技術, 1972年8月, p. 29.
- 7) 井川 博: 溶接学会誌, Vol. 38, No.9 (1969), p. 979.
- 8) 神鋼ファウドラ(株): 技術資料
- 9) (株)神戸製鋼所: 技術資料
- 10) 今川, 小林, 高津, 鬼束: 化学工業協会第52年会, N302
- 11) 宮崎, 渡辺: 神鋼ファウドラ(株)研究開発報告書1987年6月