

ステンレス鋼材の抵抗シーム溶接

古川 一敏

2005年3月

愛知産業(株)

ステンレス鋼材の抵抗シーム溶接

古川 一敏

愛知産業(株)

1 はじめに

近年、精密工業の発達や製品の高級化・高性能化・長寿命化によって各種製品へのステンレス材料の使用範囲が拡大している。とくに薄板化や製品の軽量化のニーズから超薄板化の拡大とともに、耐食性に優れたステンレス材料の一層の薄板化とその適用が進展している。

一方、抵抗溶接技術の進歩によって、溶接機の効率化が実現し、抵抗溶接の低電流化が図られ、従来よりもはるかに小型軽量な溶接機が開発されて、設備投資の負担を大幅に軽減することが可能になった。このため、アーク溶接法と比較して数多くの利点を持つ抵抗溶接法が見直されるようになり、当社に対しても多くのユーザー会社から生産技術や生産設備の見直しや改善について相談や協力を求められることが増えてきている。

そこで、最近のステンレス鋼材のシーム溶接について、具体的な事例を交えながら説明してご参考に供したいと思う。

2 抵抗シーム溶接法の利点

シーム溶接法は円板電極を連続的に回転させながら溶接電流の断続的な通電・遮断を繰り返して、スポット溶接が連続して行われる耐密性を持った高速溶接法である。アーク溶接法と比較した利点を列挙すると次の通りである。

- (1) 強いアーク光、発熱、ヒューム等の有害有毒ガス、スパッタの発生が無く、作業者の安全衛生上の問題が少なく、環境性にも優れた溶接法である。
- (2) 酸素やアセチレンのような燃料ガス、炭酸ガスやアルゴンのようなシールドガス、溶接棒、溶接ワイヤやフラックス等の溶加材など消耗品を一切使用しない経済的な溶接法である。
- (3) 機械装置の制御によって正確な溶接が行われ、作業

者の技能レベルによる溶接品質のばらつきが少なく、技能の向上や継承のために長年月をかけて溶接技能者の教育訓練を行う必要がない。

- (4) 溶接は短時間で行われ、溶接速度が速く、作業効率・生産性が高い。また、高速溶接のため溶接による歪みの発生が少なく、溶接後処理のコストも少なく済む生産効率の高い省力・省人化溶接法である。
- (5) また、以上の理由から消費電力が少なく、省エネ型溶接法である。
- (6) シーム溶接法の唯一の欠点であった大容量大型溶接機の必要性和投資金額の大きいことは、最近の新しい抵抗溶接技術によって大幅に改善され、投資金額は軽減され、投資効率が一段と向上したので、製造工程におけるシーム溶接法の適用が見直されている。

3 ステンレス鋼の特性

ステンレス鋼材のシーム溶接施工に当たっては、ステンレス鋼の特性と抵抗溶接特性を十分理解しておく必要がある。

ステンレス鋼にはきわめて多くの種類があるが、基本的にはニッケル・クロム系とクロム系に大別される。ニッケル・クロム系には2相系や析出硬化系もあるが、SUS304に代表されるオーステナイト系が広く使用されている。

オーステナイト系は、溶接性が良好であるが、溶接熱によってウェルドディケイと呼ばれる粒間炭化クロム析出部を発生し耐食性を著しく損なうので、溶接条件上の注意とともに低炭素材やチタン、ニオブ等を加えた安定材を使用するなど材料の選択にも留意することが重要である。

クロム系はマルテンサイト系とフェライト系があり、オーステナイト系と異なった特性があり、溶接性も劣るが、近年、熱硬化性や脆化性の改善された材料も開発さ

表1 ステンレス鋼の化学的・物理的・機械的性質の一例¹⁾

鋼種	化学的性質			物理的性質				機械的性質				
	JIS規格	化学成分 %		組織	磁性	電気比抵抗 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$	熱電導率 $\text{Cal/cm}^3\cdot\text{sec}$	熱膨張係数(線) $1/^\circ\text{C}\times 10^{-6}$	耐力 (0.2%) N/mm^2	引張強さ N/mm^2	伸び %	硬さ HB
		Cr	Ni									
ステンレス	SUS 304	18.00 ~20.00	8.00 ~10.50	オーステナイト系	非	72	0.050	17.3	245	589	60	149
	SUS 410	11.50 ~13.50	—	マルテンサイト系	有	57	0.059	11.0	265	481	20 ~25	135 ~160
	SUS 430	16.00 ~18.00	—	フェライト系	有	60	0.062	10.4	314	520	30	156
軟鋼	SM 400C	—	—	フェライト + パーライト	有	17	0.144	11.7	≥ 245	400 ~510	≥ 23	135

れている。

抵抗溶接の観点から見たステンレス鋼材の物理的性質・機械的性質を表1に示す。

- (1) 電気抵抗は軟鋼の3~4倍と高い
- (2) 熱伝導率は軟鋼の1/2.5~1/3と悪い。
- (3) 熱膨張係数は軟鋼より大きい。
- (4) 引張強度および硬度は軟鋼よりも高い。
- (5) とくに高温強度は軟鋼よりはるかに高い。

4 抵抗シーム溶接機

シーム溶接はスポット溶接の連続によって溶接ナゲットを重なり合わせ耐密性を得る溶接で、円板状の電極を用いて被溶接材の両側より加圧して転がしながら規則的な断続通電によって溶接される。

溶接ナゲットを十分生成させるためには大電流を流さなければならないが、ナゲットのピッチは小さくナゲットが重なり合うほど近接しているので分流量が大きく、また、円板電極による接触面積が広いこともあって溶接電流はスポット溶接の場合よりも著しく大きくなる。また、溶接速度を速くすれば溶接電流はさらに大きくしなければならない。

わが国では従来、抵抗溶接機の電源として単相交直流溶接機が多く使用され、溶接機は大容量で大型のものが多かった。当社においても各種のART交流抵抗溶接機を製作している。しかし近年、溶接効率や生産性を飛躍的に向上させる省電力・高力率のART直流抵抗溶接機を開発製作しており、シーム溶接機にも適用している。溶接電流の直流化は次のように多くのメリットがある。

(1) 電源設備の小型化

直流式は交流式に比べて最大入力kVAが20~40%小さくなり、電源設備は小規模となって設備投資金額が低減されるとともに、電気料金が大幅に節減できる。

(2) フリッカ現象の低減

入力kVAが少なく、瞬間的な電源電圧の変化が少ない

ため、フリッカ現象の心配が少なくなる。

(3) フトコロ内での溶接物の大小に影響されない。

交流式はフトコロに入るワークの大きさによって溶接電流が変化するが、直流式は安定した電流値で溶接できる。

(4) 溶接スピードの高速化

直流式は交流式のような周期的な加熱、冷却現象が無く、溶接部を連続加熱できるので、交流式に比べ約2倍の速度で溶接できる。

(5) 電流値の低減

直流溶接は発熱効率が良好で、交流に比べて40%以上少ない電流値で同等の溶接が得られる。また、多層重ね溶接も1回の溶接で良好な結果が得られる。

(6) 異なる板厚や異なる板数への適用

同一作業工程中で異なる板厚の重ねや、2枚合わせ3枚合わせなどの組み合わせが混在していても溶接条件範囲幅が広いので、そのままの条件で溶接できる。

(7) 即応型シリンダの採用

ART抵抗溶接機にはヘッドのスピードが任意に調整でき、加圧時の衝撃や騒音の緩和ができる特殊加圧装置を採用しており、溶接時の加圧の即応性が良好である。

5 各種の抵抗シーム溶接機

抵抗シーム溶接機には溶接電流のほか、通電形式によってダイレクトシーム溶接機、インダイレクトシーム溶接機、シリーズ溶接機等に分類される。また、電極形式によって横シーム溶接機、縦シーム溶接機、ユニバーサルシーム溶接機、直角電極シーム溶接機、腕型シーム溶接機等の種類がある。また、定置式のほかに可搬型シーム溶接機もある。その他さまざまな製品を作るためにワークの形状に合ったさまざまなシーム溶接機がある。

ARTシーム溶接機も電源の種類による基本シーム溶接機として次の溶接機がある。

- ・交流式シーム溶接機

- 1) 電源容量25kVAから100kVAまでの低電力型。単相。
- 2) 板厚は5 μ mのメッシュから3mm板までの溶接が可能。
- 3) 材質は一般鋼材、ステンレス、アルミニウム、銅・銅合金、チタン、メッキ鋼板等あらゆる材料の溶接が可能。
- 4) 軽量コンパクト。自走型もある。
- 5) 平板、パイプ、鋼板等に適用。

・直流シーム溶接機

- 1) 電源容量は75kVAから300kVA。単相。
- 2) フトコロ内では溶接物の大小に影響されない。実績フトコロ寸法3,500mm。
- 3) 溶接速度は交流に比べて約2倍。
- 4) 板厚6mm+6mmの溶接も可能。
- 5) アルミニウムの溶接が可能。

・高速シーム溶接機

- 1) 直流インバータトランスを利用し、超高速溶接が可能。最大溶接速度20m/分。
- 2) 両輪駆動、上下円板電極同時回転。
- 3) 電極成形バイト装置付（標準装置）。

- 4) 電極内部水冷式。

また、ワークの形状や各種の作業に対応して次のようなARTシーム溶接機がある。

- (1) ヨコシーム溶接機
- (2) タテシーム溶接機
- (3) 平シーム溶接機
- (4) エルボシーム溶接機
- (5) ツインシーム溶接機
- (6) コーナーシーム溶接機
- (7) フープ材継ぎ溶接機
- (8) 自走シーム溶接機
- (9) メッシュ用シーム溶接機
- (10) インバータシーム溶接機
- (11) マイクロシーム溶接機
- (12) ダブルリングシーム溶接機
- (13) 缶用ワイヤシーム溶接機
- (14) 燃料タンク用平シーム溶接機
- (15) ポータブルシームガン など。

ART直流シーム溶接機を図1に、ART各種シーム溶接機を写真1（次ページ）に示す。

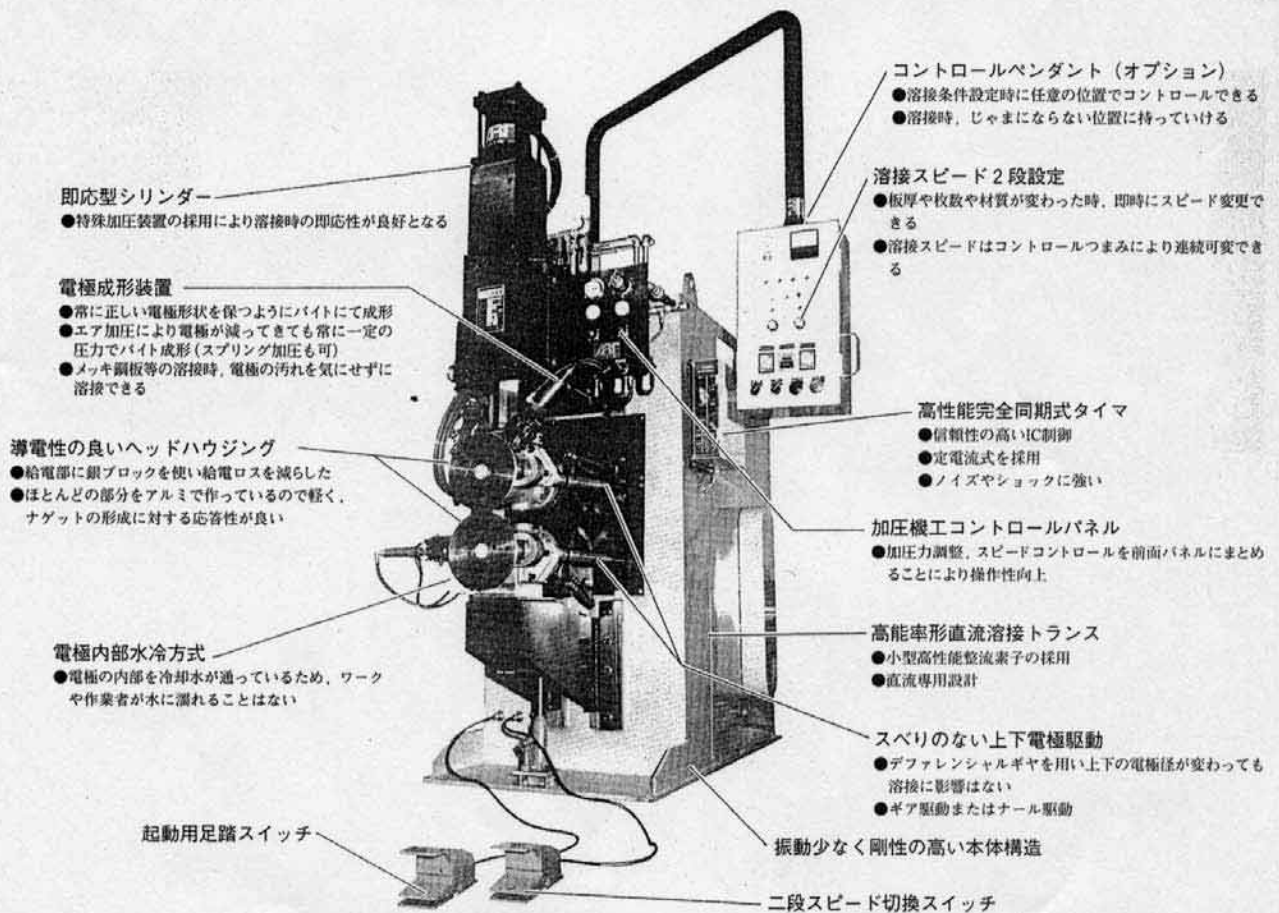
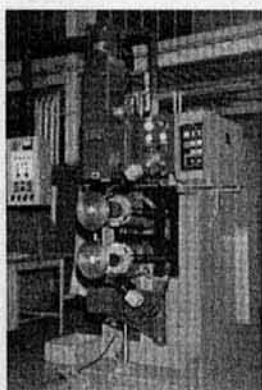


図1 ART直流シーム溶接機



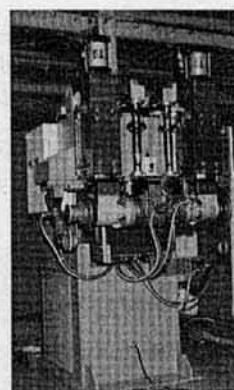
ヨコシーム溶接機



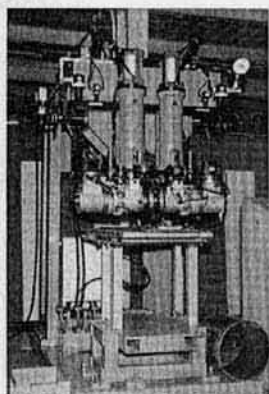
タテシーム溶接機



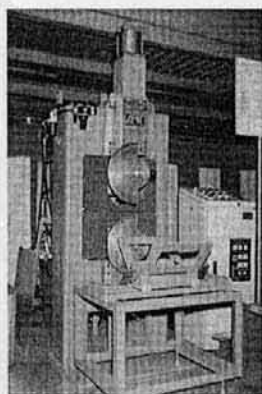
平シーム溶接機



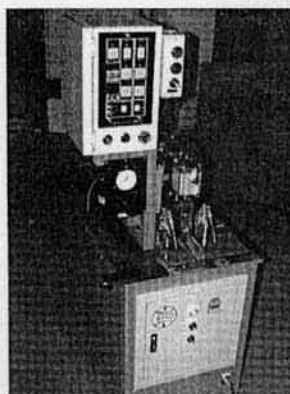
エルボシーム溶接機



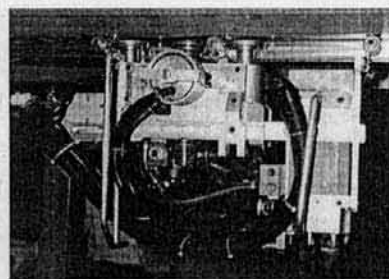
ツインシーム溶接機



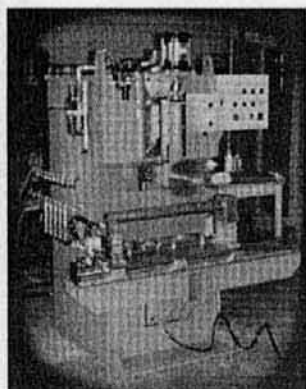
コーナースイーム溶接機



フープ材継ぎ溶接機



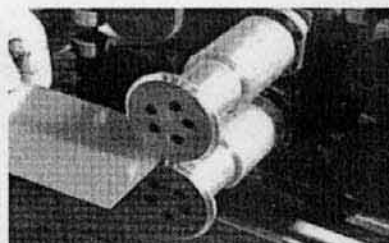
自走シーム溶接機



メッシュ用シーム溶接機



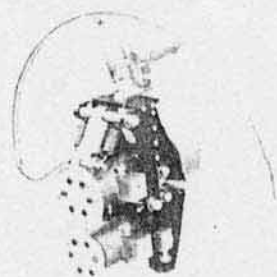
インバーターシーム溶接機



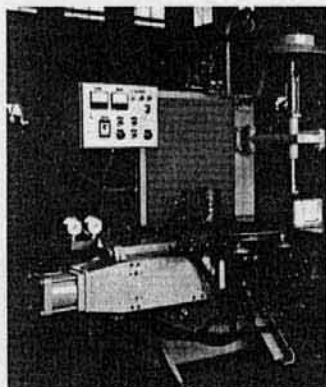
マイクロシーム溶接機



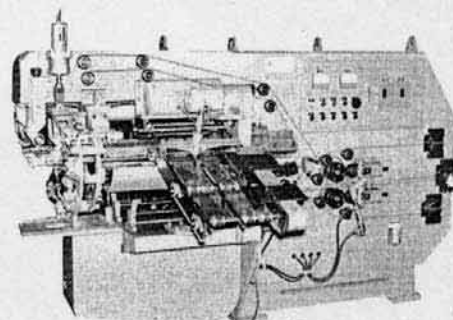
ダブルリンクシーム溶接機



ポータブルシームガン OCW-100



燃料タンク用平シーム溶接機



缶用ワイヤーシーム溶接機

写真1 ART各種シーム溶接機

(16) 低加圧型シーム溶接機

抵抗シーム溶接は高い加圧力が必要で、ステンレス鋼材の場合はその機械的特性から軟鋼材よりも高い加圧力が必要とされている。しかし、シーム溶接の適用範囲が拡大する中で現場や工場内でも強大な加圧機構を使用することが難しい作業環境もあり、弱い加圧力でも施工できるシーム溶接機の開発が求められた。このユーザーニーズにこたえるため当社では革新的な低加圧型シーム溶接機を開発した。(a) 定置式や (b) 可搬式 (ARTハンドシーム溶接機) があり、標準のシーム溶接機の10分の1という低い加圧力で溶接することができる。

ステンレス鋼ではとくに0.5mm以下の箔に至る極薄板材に低加圧型シーム溶接機が活用されている。

写真2に低加圧型シーム溶接機 (a) 定置式, (b) 可搬式 (ARTハンドシーム溶接機) を示す。

6 ステンレス鋼のシーム溶接

抵抗シーム溶接が適用されるオーステナイト系ステンレス鋼材の溶接性は優れているが、適性溶接条件範囲が一般鋼材より狭いので、母材の表面状態には注意を払い、塵埃、油脂、ペンキ等は除去清掃し、化学的あるいは機械的処理によって酸化膜を除去した方がよい。

ステンレス鋼は一般鋼材に比べて高温強度が高く硬度も高い。チリ発生が起こりやすい。接触領域が狭いので通電領域を確保する必要があるなどの理由で、一般鋼よりも相当高い加圧力が必要となる (図2)。そのため電極の変形損耗が甚だしいので、導電性ととも強度・硬度の優れたCr, Be, Co, Ti, Zrなどの入った銅合金を電極材として使用し、かつ、形状寸法を常に正確に保つように電極の管理が必要である。また、加圧適応性の優れたシーム溶接機、通電時間、加圧時間、ホールド時間、

スクイズ時間の正確な制御ができるシーム溶接制御装置が必要である。

ステンレス鋼は電気抵抗が一般鋼材より高く、電流に対する発熱量が高いため、溶接電流は一般鋼材の場合よりはるかに低くなる。ステンレス鋼と一般鋼材のシーム溶接条件 (同一板厚に対する溶接電流値の関係) を比較

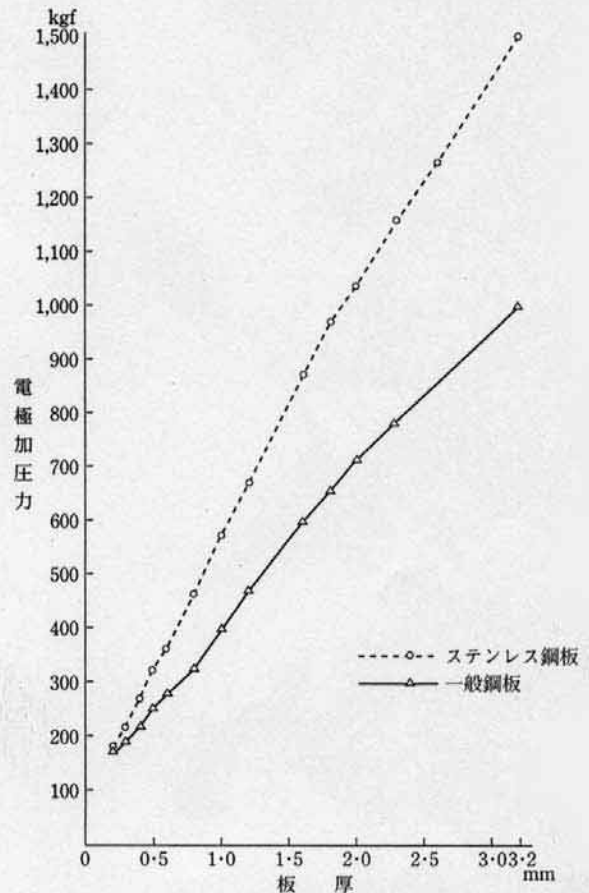


図2 ステンレス鋼と一般鋼材の溶接条件比較 (加圧力) 一単相交流式 (Taylor-Winfield Co.資料)



(a) 定置式



(b) 可搬式 (ARTハンドシーム溶接機)

写真2 低圧型シーム溶接機

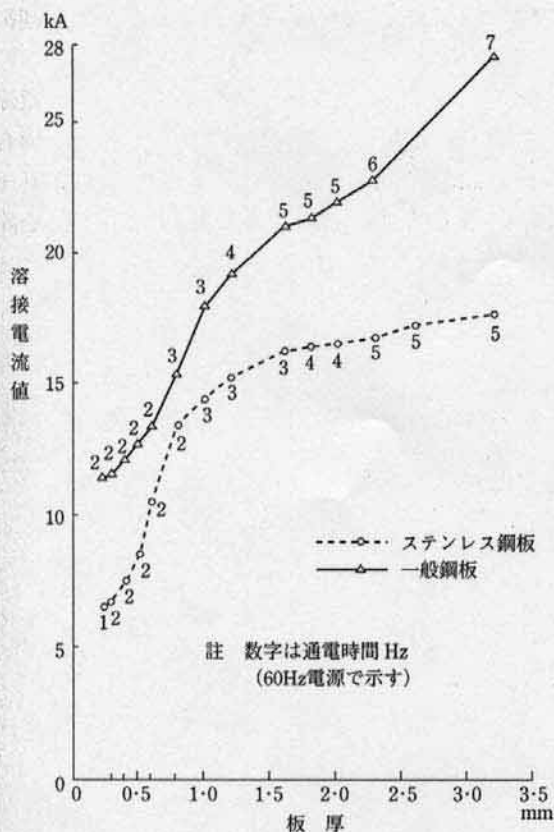


図3 ステンレス鋼と一般鋼材の溶接条件比較（電流値）一単相交流式（Taylor-Winfield Co.資料）

して図3に示す。

ステンレス鋼の熱伝導性は軟鋼の2分の1（フェライト系）、3分の1（オーステナイト系）と悪く、溶接時の母材と溶接部の温度差が大きいので結晶組織の成長が速く、クロムカーバイドの析出も速くなる。結晶粒の粗大化やウエルドディケイ防止の上でも溶接電流を低く溶接時間を短くし、加圧力を大きくして冷却を速くする溶

接条件が望ましい。ステンレス鋼の熱膨張係数は軟鋼より大きいので、歪み防止のためにも小さなナゲット条件となるように溶接電流を低く通電時間を短く加圧力を大きくしている。

一方、ステンレス鋼のスポット溶接条件とシーム溶接条件を比較すると、溶接電流の分流化のためにシーム溶接電流を高くする必要がある。ナゲットの平均溶込み率は70~80%となるように溶接電流は高めに設定する。通電時間に対する休止時間は軟鋼の溶接条件に比較してステンレス鋼の休止時間は長くなる。ナゲットの重なりが少ないと熱応力が大となって溶接割れが発生するおそれがあるので、溶接電流を大きくし、ナゲットの重なりを増加して熱応力を軽減する。しかし、通電休止時間が短すぎたり、溶接速度が遅すぎたりしてナゲットが再溶融して内部欠陥が発生するおそれがある。ナゲットの重なりは通常10~25%である。

次にステンレス鋼材を使用してARTシーム溶接機によって各種製品を製作している実例を表2に紹介する。

7 おわりに

ステンレス鋼材のシーム溶接について、とくにシーム溶接機を中心に説明した。

ステンレス鋼材の用途は拡大の一途を辿っており、一方、抵抗シーム溶接技術も大きく進歩している。生産現場において生産ラインを見直し、シーム溶接技術が生産の合理化を進展させる上で本稿がお役に立てば幸いである。

参考文献

- 1) 「溶接技術大系12 ステンレス鋼の溶接」、p.28, p.30, 産報出版(株)

表2 ARTシーム溶接機によるステンレス製品

品名	被溶接材料		備考
冷凍パネル	ステンレス材 1.0mm板 2枚重ね 気密溶接	縦横シーム溶接機 7.0kVA	シーム溶接速度 2.5m/分
フィルター	ステンレスフィルター(5ミクロン以上メッシュとメッシュ、メッシュと板重ね)	フィルターメッシュシーム溶接機	
ボイラー熱交換器	ステンレス材	平シーム溶接機	
ステンレスクラッド鋼管	鋼管へのステンレス材、ユース材、チタン材のクラッド被覆	ツインシーム溶接機	
流し台	ステンレス材	横シーム溶接機	
ビールタンク	鋼板タンクへのステンレス材クラッド	特殊縦シーム溶接機	
LNG船メンブレンタンク	インバー材(36%Ni)0.5~1.5mm板 2枚重ね, 3枚重ね	可搬型自走シーム溶接機	
空調バルブ	ステンレス管	ゴリゴリシーム溶接機	