

直交型ロボットによる裏波板継ぎ溶接システム

Uranami Steel Plate Welding System using Rectilinear Cartesian Robot

田中 浩*
Hiroshi TANAKA

田中 一男**
Kazuo TANAKA

鳴沢 明雄***
Akio NARUSAWA

大月 真一****
Shinichi OHTSUKI

Summary

The need arises to join steel plates during the shop fabrication of bridge or building components. The process involves many different tasks, such as assembly, surface welding, reversing workpieces, back gouging, and back running. The work is dangerous, dirty, and noisy. Every firm in the industry is making efforts to improve the process in the face of labor shortages.

The system introduced here was designed to automate and reduce the manpower necessary to complete the process steel plate joining.

1. はじめに

建築鉄骨、鋼橋製作業界は近年厳しい労働力不足に悩まされている。これは将来的にも良い方向へ転向することも期待できない。当然これからは少ない人員で加工する必要があると考えられる。このような状況のもとで各社各様の省力機械が開発されている。

ここに紹介するシステムは省力化を目的に開発、設計したものである。

2. システムの概要

本システムは大きく分けて、組立機構と溶接機構で構成されている。

組立機構は従来は仮付作業を行っていたものを一度に溶接まで行うもので、板幅方向と板厚方向の寸法合わせ、ルート間隔の確保、裏当て材の取り付けを機械的に行い仮付溶接を省略している。部材の移動はローラーコンベア式とした。システムの全体配置を図-1に示す。

溶接機構は図-2に示すような4軸直交座標型のCO₂溶接ロボットを使用しており、初層裏波溶接および連続多層溶接が可能である。溶接ロボットの仕様を表-1に示す。

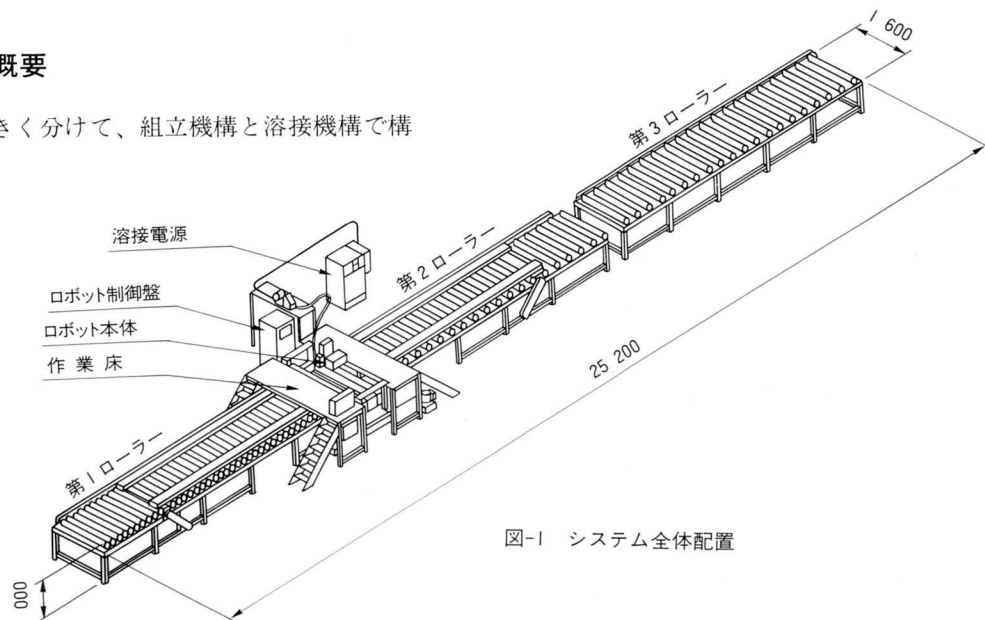


図-1 システム全体配置

* 松本工場製造部生産技術課課長代理
** 松本工場製造部長

*** 松本工場製造部生産技術課長
**** 松本工場製造部生産技術課

3. 機能的特長

① 部材の反転作業およびガウジング作業が不用

一般的に板継ぎに適用されているサブマージーク溶接および通常のCO₂アーク溶接では裏面の溶接を行うため

に、表面溶接完了後に部材を反転しなくてはならず、その上CO₂アーク溶接では裏はつりが必要である。本システムではセラミック製のバックング材を使用して裏波溶接する方法を採用したのでこれらの工程が省略された。

② 部材の心出し、心合せ作業が不用

板幅方向の心を機械的に合わせ拘束する機構としたことにより心の罫書き作業、糸張りならびに人手による心合わせ作業が不用となった。

③ 部材拘束状態で溶接するので変形量が小さい

拘束なしの状態で行うと大きな溶接変形が発生する。これを防止するために形状保持を兼ねて板幅方向および板厚方向に油圧で拘束した状態で溶接することにした。これにより面内変形、面外変形ともに小さく押えることができた。

④ 二次作業の自動化

裏波溶接を施工するためにルート間隔寸法の確保、裏当材の取り付けといった二次作業が出てくるのでこれらを簡略化、自動化する必要が発生する。ルート間隔寸法はスペーサーを自動的に挿入することにより確保し、裏

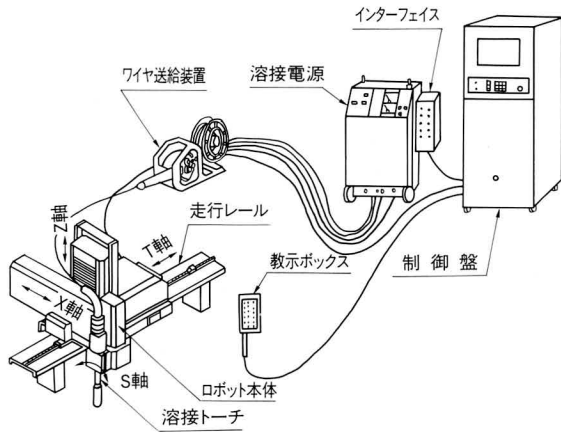


図-2 溶接ロボット概要図

表-1 溶接ロボット仕様

ロボット本体	構造	同時4軸直交座標系	
	駆動方式	DCサーボモータ	
	動作範囲	左右 (X)	150mm
		上下 (Z)	100mm(手動300mm)
		台車走行 (T)	1,360mm
		トーチ角 (S)	0~50°
	最大速度	左右 (X)	45mm/sec.
		上下 (Z)	40mm/sec.
		台車走行 (T)	25mm/sec.
		トーチ角 (S)	90°/sec.
	位置再現精度	±0.4mm	
	周囲温度	0~45℃	
外形寸法	452W×461D×373H		
重量	18kg(トーチ、ケーブル含まず)		

ガイドレール	構造	ラック付AI押出形
	単位長さ	1,800mm(継足し方式)
	固定方法	永久磁石
	重量	レールのみ
マグネット付		12.7kg

トーチ	トーチ形式	水冷330A 使用率100%(MAG溶接)
	ワイヤ	φ1.2メタル系フラックス入りワイヤ
	コンジット、ケーブル類	3m付

制御装置	構造	制御盤	防塵自立型、キャスター付
		教示ボックス	防塵ペンダント型コード15m付
	経路制御方式	PTP教示によるCP(溶接)再生	
	制御軸数	同時4軸	
	溶接条件設定	14"カラーCRTとの日本語対話入力(標準溶接条件内蔵)	
	登録Job数	最大60継手	
	最大教示点数	20点/継手	
	位置制御方式	DCサーボによる増分式デジタル	
	ウィーピング	ソフトウェア方式	
	リアルタイム条件変更	電流、電圧、速度	
	センサー機能	上下做いアークセンサー	
	自己診断機能	入力ミス、溶接異常、ハード異常	
	周囲温度	0~40℃	
	ケーブル長さ	15m	
	外形寸法	制御盤	600W×550D×1,600H
教示ボックス		80W×25D×180H	
重量	制御盤	160kg	
	教示ボックス	1.2kg	

オプション	板厚範囲の拡大	Max60mm
	プリンター	溶接施工記録や施工方法の検討等に利用
	裏波溶接自動制御機能	

当材の取り付けはセラミックバックング材を自動的に押し付けることとした。

⑤ 組立て、溶接を1人作業で行える

一般的な施工方法では罫線、組立て、溶接、部材反転等多くの工程を通るため数人の作業者の手を経由する必要があるが、本システムの導入により一人作業で施工できるようになった。

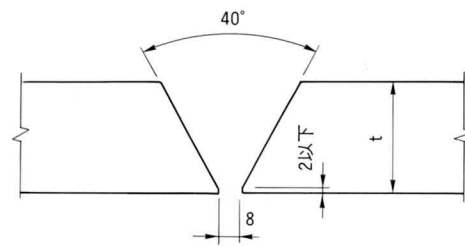


図-3 標準開先形状

4. 溶接条件の設定

溶接方法は、フラックスコアードワイヤ1.2φ、CO₂ガス100%の組み合わせで行う炭酸ガスアーク溶接で、開先については図-3の開先を標準的に使用している。

(1) 多層盛溶接と裏波溶接

本システムの設計にあたり、多層盛溶接と裏波溶接ができることが溶接ロボット選定の条件であった。

多層盛溶接では、ワイヤの狙い位置、狙い角度（図-4参照）を合わせ、溶接電流・電圧・速度、ウィーピング幅・速度、両端停止時間、シフト量を設定しなければならない。これらの条件の組み合わせは無限にあるが事前の実験により、実施工に使用する組み合わせは数種類に絞ることができた。

裏波溶接は、安定したビードを得るためには溶接中のワイヤ狙い位置をクレーター先端から4~5mm以内になるように溶接速度をリアルタイムで制御することが必要である。一方、裏波溶接時にワイヤ狙い位置がクレーターのどの位置にあるかによって溶接中の電流値が変化することからこの変化量を検出し、溶接速度を制御している。また、溶接中にもワイヤ狙い位置を修正することができるようにもなっている。

(2) 裏当材の検討

裏波制御を用い裏波溶接を行う場合、裏当材としてはフラックスタイプまたはセラミックタイプの裏当材が多く使用されているが、その他にガラスウールも使用されている。これら裏当材の材質や形状について試験した結果セラミックタイプを使用することとした。

特にガラスウールを使用した場合、裏波ビードの形状の良否の差が大きく安定性がなかった。また、ガラスウールの成分にボロンが入っているため初層割れの心配もある。

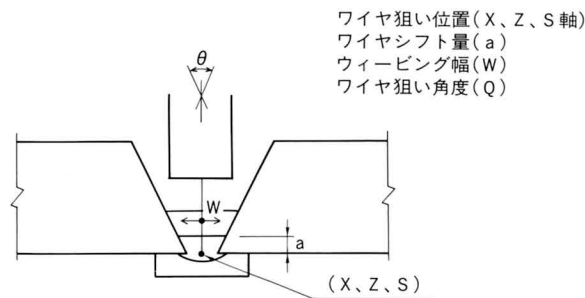


図-4 多層盛溶接

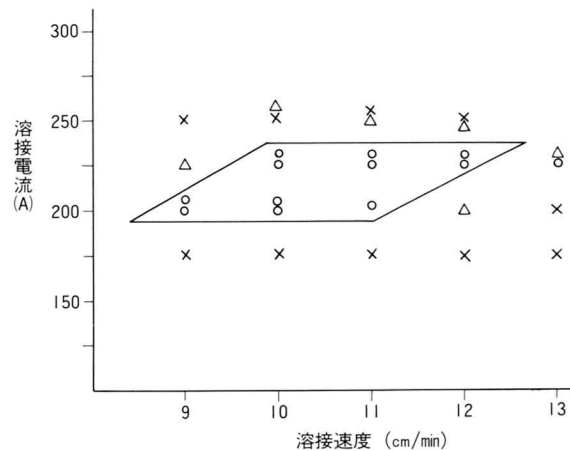
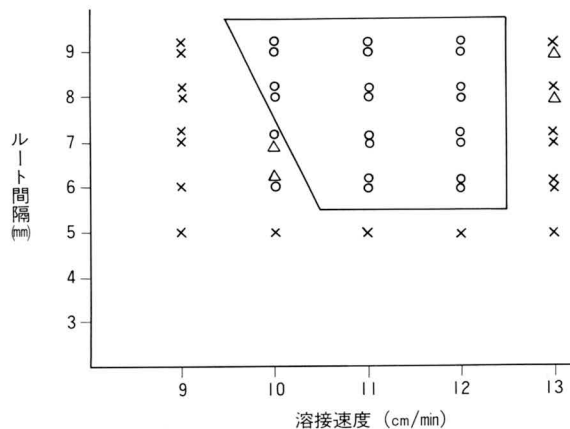


図-5 初層溶接条件設定データ例

(3) 初層溶接の検討

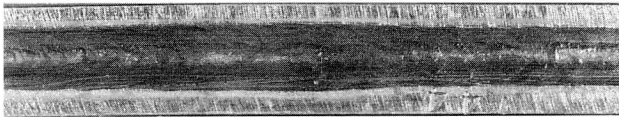
裏波溶接を行う上で初層の溶接は特に重要であり、ルート間隔寸法は溶接条件を大きく左右し溶接品質に影響をおよぼす。そこで、ルート間隔と溶接条件の関係について検討を行った。

各ルート間隔に対する溶接条件の中で溶接品質に影響を与える要素は、

- ① 溶接電流、電圧
- ② 溶接速度
- ③ ウィーピング幅
- ④ ウィーピング左右停止時間

の4つが考えられる。溶接条件は、板厚、開先角度、ルート間隔の組み合わせ別に前述の実験を基に最適条件を登録した。図-5に条件設定試験のデータ例を、写真-

(良好例)



(不良例)

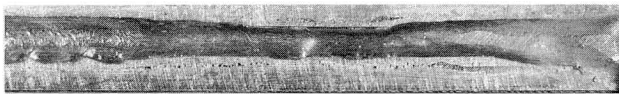


写真-1 裏波ビード外観

1に裏波ビード外観の例を示す。

(4) 各層の溶接

各層毎の溶接条件は、標準条件を基準にしてウィーピング幅、回数および速度が1層当りの、のど厚で4~6mm程度になるように決定した。表-2に標準溶接条件の例を示す。

(5) テーパーギャップ

工場導入後の実施段階では切断誤差等により溶接始端のルート間隔に寸法差のある溶接部が発生することが考えられる。

ルート間隔が5~10mm、7~9mmおよび6~9mmの3種類について実験を行った結果、ギャップ差が3mm程度までなら対応可能な事が確認できた。裏波ビード外観および断面マクロの例を写真-2、写真-3に示す。

(6) ティーチング

ティーチングは、初層溶接を行う為の位置と板厚、ルート間隔に適合した溶接条件の入ったデータバンクを呼び出すだけで全層溶接が行える。

表-2 標準溶接条件の例(住金溶接工業推奨条件)

***** フロクラム・リスト ***** No. 1---60 インサツビ 91/ 8/29 ハーシ 40

フロクラムNo.40; トウロクビ 91/ 8/26

カイサキ : V カクタ * ヨウセツ・ホウホウ : 1 ソウ・1 ハ°ス * オウフク * コウ・テンリユウ* ウラアテサイアリ

イタアツ カイサキカクツ ルート・フェイス ルート・キョウツフ° キ・ヨウセツ・ハハ°
16mm' 40ト° 0mm ' 9mm: 0mm

***** ヨウセツ ショウケン *****

イ チ		ヨウセツ			クレータ		ウィーピング		テイシ・シカン			シフト				マチ
ソウ	ハ°ス	A	V	ソクト°	A	V	シカン	ハハ°	ソクト°	ヒタ°リ	ミキ°	X	Z	T	S	シカン
**	**	A	V	cm/分	A	V	秒	mm	mm/秒	秒	秒	mm	mm	mm	ト°	秒
1	1	220	28	11.0	220	28	3.0	4	20.0	0.7	0.7	0.0	6.5	0.0	0	0
2	1	300	36	22.3	220	28	3.0	11	20.0	0.3	0.3	0.0	4.0	0.0	0	0
3	1	300	36	19.4	220	28	3.0	14	20.0	0.3	0.3	0.0	4.0	0.0	0	0
4	1	300	36	19.4	220	28	3.0	14	20.0	0.3	0.3	0.0	4.0	0.0	0	0

***** ニュウネツ リョウ *****

ソウ	ハ°ス	ニュウネツリョウ	アークタイム
**	**	KJ/cm	分/m
1	1	33.6	9.1
2	1	29.1	4.5
3	1	33.4	5.2
4	1	33.4	5.2
**	**	*****	23.9

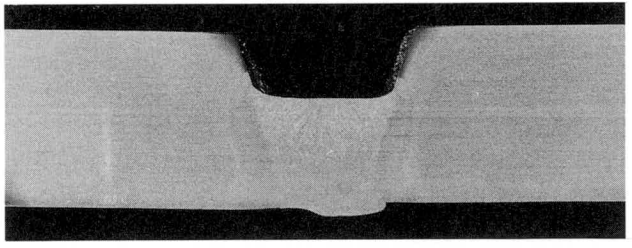
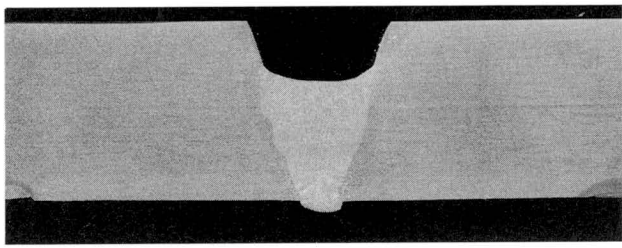
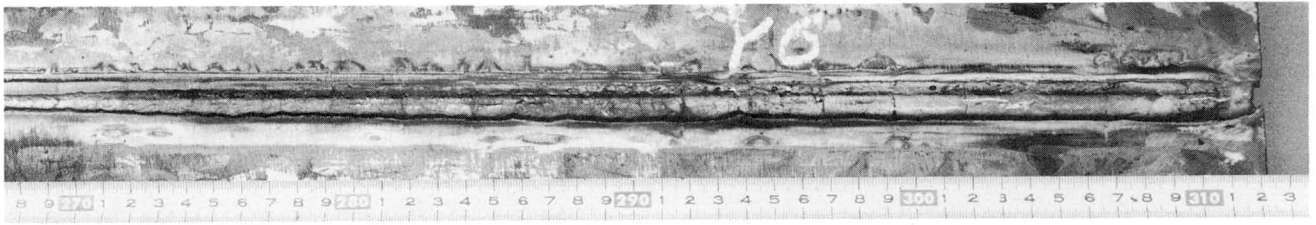


写真-2 テーパーギャップ5~10mm

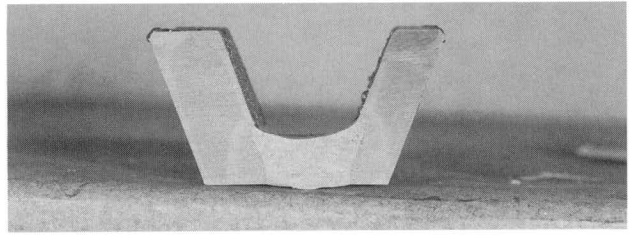
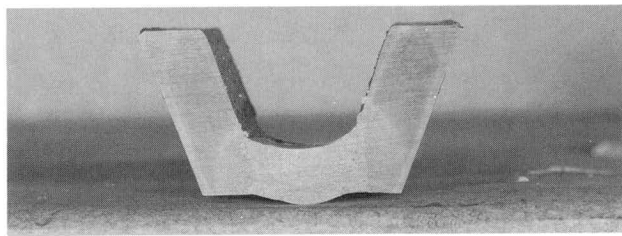
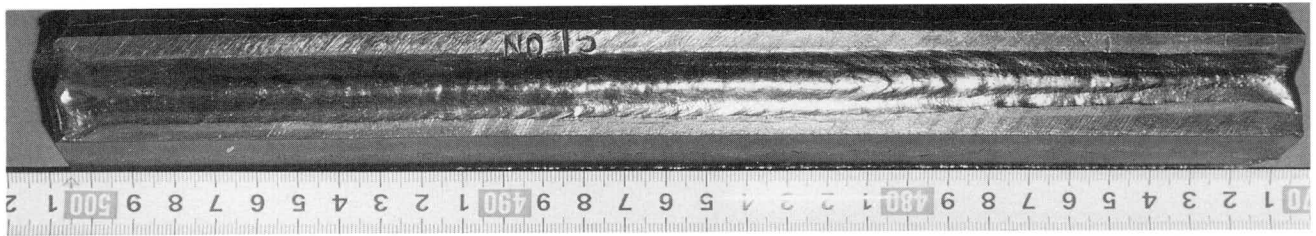


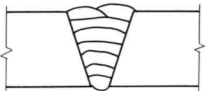
写真-3 テーパーギャップ6~9mm

通常、ティーチング位置は、開始と終了点の2点のみだが、切断の曲がりがある場合などは、溶接線中間点を追加入力する必要がある。またエンドタブを使用した時は、両端エンドタブ内と本体の両端の計4点入力とした方が、初層溶接時の狙い位置のズレを防止することができる。

5. 溶接継手部の機械的性質

溶接継手部の機械的性質について以下に述べる。

表-3 t=32mm溶接条件

溶 接 条 件				
パス数	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/分)	積層形状
1	220	28	11	開先形状 角度 40° ルート間隔 8mm 
2	300	36	23	
3	300	36	20	
4	300	36	16	
5	300	36	14	
6	300	36	12	
7	300	36	19	
8	300	36	19	

(1) 溶接条件

鋼板SM490A板厚 $t = 16\text{mm}$ 、 $t = 22\text{mm}$ 、 $t = 32\text{mm}$ 、 $t = 40\text{mm}$ の4種類について溶接試験し、その機械的性能について確認した。溶接条件のうち、 $t = 32\text{mm}$ の例を表-3に示す。

(2) 機械的性能

機械的性能に先立って実施した非破壊試験（超音波探傷試験および放射線透過試験）の結果はいずれも良好であった。試験一覧を表-4に示す。

表-4 溶接試験一覧表

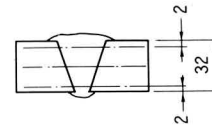
試験板厚	試験項目	数量	規 準	備 考	
40mm 32mm 22mm 16mm (SM490A)	超音波探傷試験	全数	建築学会規準		
	放射線透過試験	全数	JIS Z 3104		
	マクロ試験	1	JIS G 0553準拠		
	硬さ試験	1	JIS Z 3101準拠	測定部位 表面下 1/2t 裏面下	
	引張り試験	1	JIS Z 3121		
	曲げ試験	表曲げ試験	1	JIS Z 3122	
		裏曲げ試験	1	JIS Z 3122	
		側曲げ試験	1	JIS Z 3122	
	衝撃試験	Depo	1	JIS Z 3128	1/4tより採取 3本の平均値 試験温度 0°C
		Bond	1	JIS Z 3128	
HAZ		1	JIS Z 3128		
溶着金属成分分析	1	5元素 Cu Ni Cr Mo Ti Al Nb V			

表-5 機械試験結果 ($t = 32\text{mm}$)

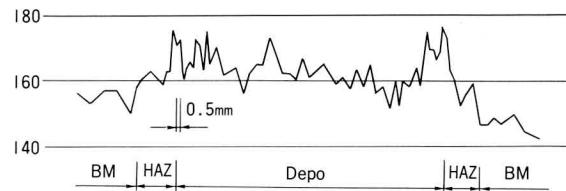
試験の種類	試 験 結 果									
マクロ試験	欠陥なし									
引張り試験	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	伸びGL=50mm (%)	破断位置						
	370	525	43.4	Depo						
曲げ試験	表曲げ試験	欠陥なし								
	裏曲げ試験	欠陥なし								
	側曲げ試験	欠陥なし								
衝撃試験	Depo	114J								
	Bond	124J								
	HAZ	213J								
溶着金属成分分析 wt (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	
	0.07	0.47	1.4	0.016	0.009	0.01	0.01	0.03	0.01	
	Ti	Al	Nb	V						
	0.046	0.017	0.007	0.01						

機械試験結果のうち $t = 32\text{mm}$ の継手引張り試験、曲げ試験、衝撃試験および溶着金属成分分析結果を表-5に示す。また、 $t = 32\text{mm}$ の硬さ分布を図-6に示す。継手部のマクロ試験片を写真-4、曲げ試験片を写真-5、引張り試験片を写真-6に示す。

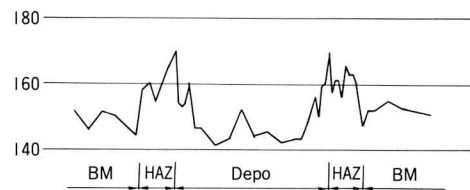
いずれも良好な結果でありこの溶接工法が継手性能を十分満足するものであることが確認できた。



表面2mm部



1/2T部



裏面2mm部

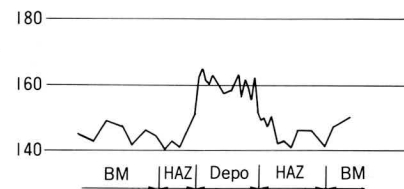


図-6 硬さ分布例 ($t = 32\text{mm}$)

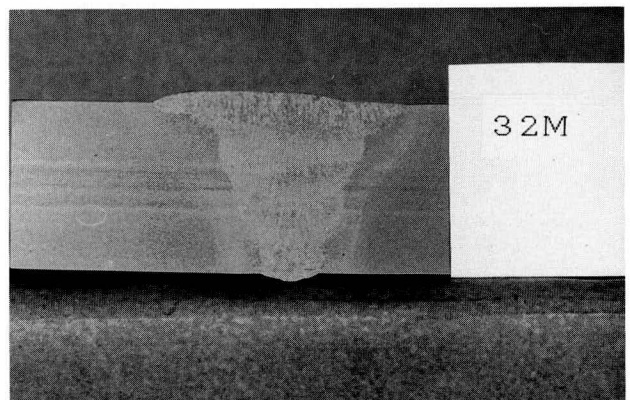


写真-4 マクロ試験片 ($t = 32\text{mm}$)



写真-5 曲げ試験片(t=32mm)

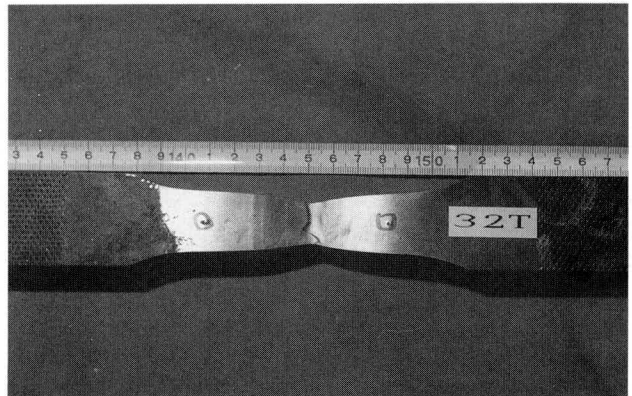


写真-6 引張試験片(t=32mm)

6. 今後の課題

システムの方式を選定する段階からいくつかの問題点があった。このうちの一部は解決されたが下記のものも今後の課題として残った。

① 溶接タブ

溶接の始末端には鋼製タブを使用する方法が一般的であるが、工数削減のためにはセラミックタブを使用する等の方法を確立する必要がある。ロボットのハードも含めて改善していかなければならないテーマである。

② 非破壊検査

X線検査、超音波検査等をラインに組み込んで連動させることによりさらにグレードアップを計ることも今後の課題である。

③ ノズル

ノズルは通常、テーパノズルを使用しているが、板厚が25mm以上になると、開先面とノズルの干渉という問題が発生した。その際、ストレートノズルをつぶしてテーパにすることにより、溶接が可能になったが、このノズルでは、上層を溶接する時シールド不良が起るため、中間層でのノズル交換が必要になる。

④ 再アークの発生

本装置では、フラックスコアードワイヤを使用しているので、アーク中断後再アークが発生する場合、溶接ビード表面のスラグによりアークが発生し難い。従って4～5層溶接終了時に、スラグ除去を行わなければならない溶接作業中断を強いられている。

7. 結び

本システムを工場に設置し、試運転、調整まで完了した。これから本稼働となるが、実工事を流していく中でいろいろと細かい問題点が発生することも予想される。前述の今後の課題と合わせて早急に解決していかなければならない。また、生産量に合わせ本システムの増設も検討する必要がある。

最後に、本システムの設計、溶接試験に際し資料を提供していただいた住金溶接工業株式会社の関係各位に対し、この紙上を借りて感謝申し上げます。

1991.12.10受付