

「ハイアーク」による普通鋼の半自動熔接について

Semi-Automatic Welding of Common Steel by the "Hi-Arc" Method

石 橋 英 治*

Eiji Ishibashi

内 容 梗 概

軟鋼のアーク熔接法として炭酸ガスアーク法が最近実用化され熔接性、作業能率、経済性などが注目されている。ハイアークは有心複合線材を使用する半自動熔接機で既設の交流または直流熔接機を電源として簡単に熔接の自動化を実現できる。熔接結果は機械的性質、作業性、熔接速度、経済性などにすぐれた性能を示している。本機は今後高張力鋼用、肉盛用などの線材の開発により応用範囲がさらに広がり、多方面に利用されるものと思われる。

1. 緒 言

近年熔接技術の発展は著しく、大量の鋼材が熔接加工により処理されるようになったため、熔接作業の能率化、性能向上、コスト低減などの合理化が必要となり種々の自動熔接装置が開発されてきた。しかし従来の自動熔接機の大半は直線継手熔接を主用途とするもので複雑高価であり手熔接に比べ機動性、簡易性に欠けるため、高度の熔接作業工場においても20%以上の機械化率を得ることは困難とされている。最近炭酸ガスアーク熔接法が熔接線材の冶金的検討、フラックス併用方式の採用など欠陥防止に対する研究を重ねた結果広く実用化の段階にはいったが、中でもフラックスを巻き込んだ有心複合線材を使用する半自動熔接機ハイアークは従来の全自動熔接と手熔接の中間的存在で迅速性、作業性、機動性にすぐれ、手熔接に代わって簡便に自動熔接の効果を発揮できるものである。

以下にハイアークの熔接機能について述べる。

2. 炭酸ガスアーク熔接の原理

炭素鋼のアーク熔接作業を自動化し熔接速度を向上させるには、連続したワイヤ状熔接線材を使用すること、熔接電流を大きくすること、線材に対する通電箇所をアーク部分に近づけることなどが必要で、潜弧熔接法やMIG熔接法が従来より実用されている。しかし潜弧熔接法は下向直線継手熔接を主用途とし装置が複雑なため機動性に乏しく、MIG熔接法は、アルゴンやヘリウムなどの高価な不活性ガスを使用せねばならない欠点があるため最近炭酸ガスを遮へいガスとして一般鋼材の熔接を行なう方法が検討されはじめた。この方法によると作業性がよく熔接能率は手熔接の数倍に向上し、廉価な炭酸ガスを用いるため熔接経費が節減できるなどの利点が見られる。

しかし、軟鋼材を炭酸ガスふん囲気中でそのままアーク熔接すると熱解離によって生じた酸素のため熔融母材や熔融鋼滴の一部が酸化されて、熔接個所にブローホールなどの欠陥を生ずる。すなわち炭酸ガスは高温において(1)式のような熱解離をおこす。

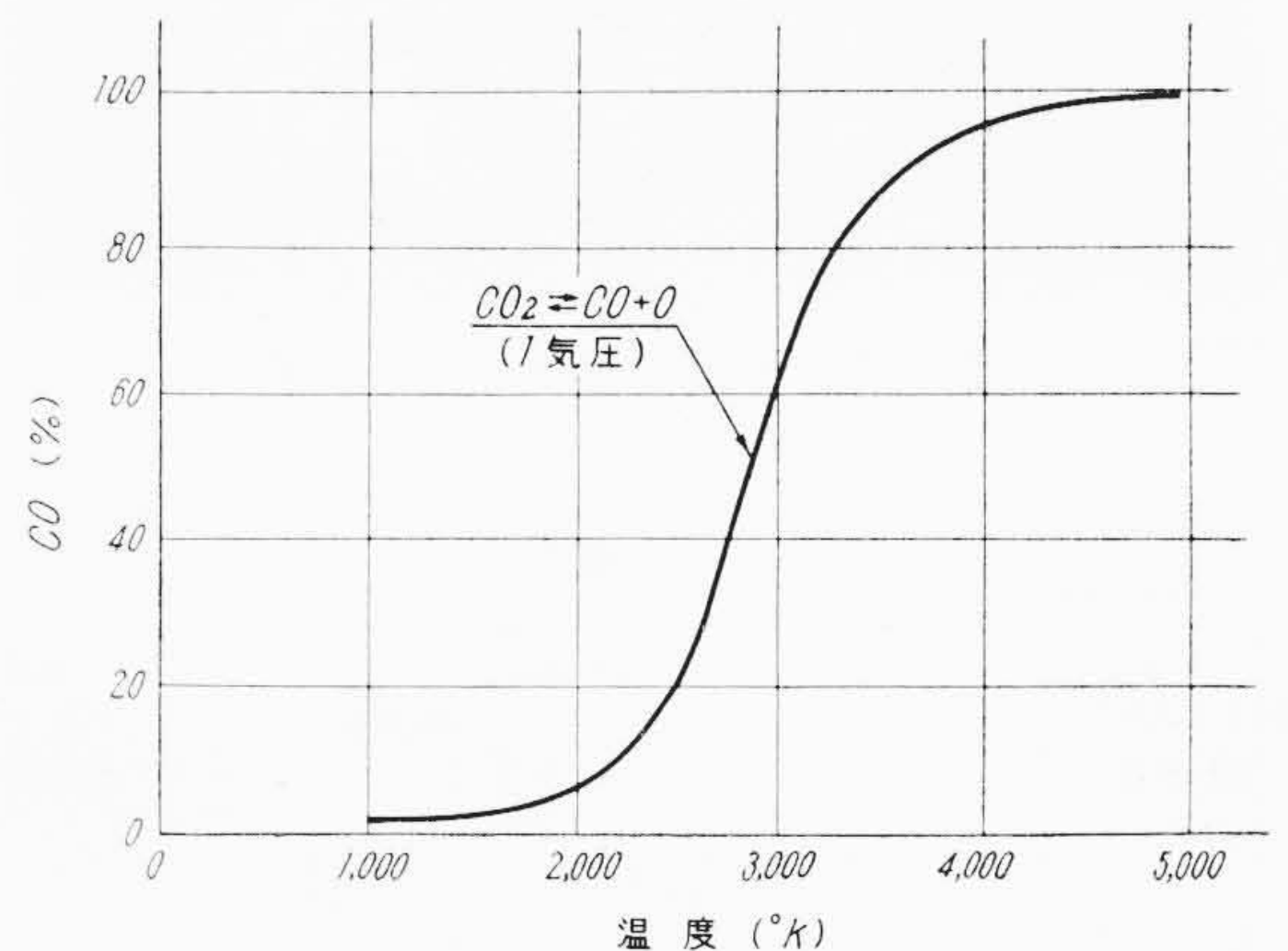


G. R. Rothschildによればガス温度と熱解離平衡状態との関係は第1図のとおりで、アーク周辺のふん囲気は強い酸化性を示すため熔融状態の鉄は一部が酸化されて酸化第1鉄FeOとなり凝固する際に過飽和になったFeOが熔鋼中の炭素と反応し(2)式のようにCOガスを生ずる。

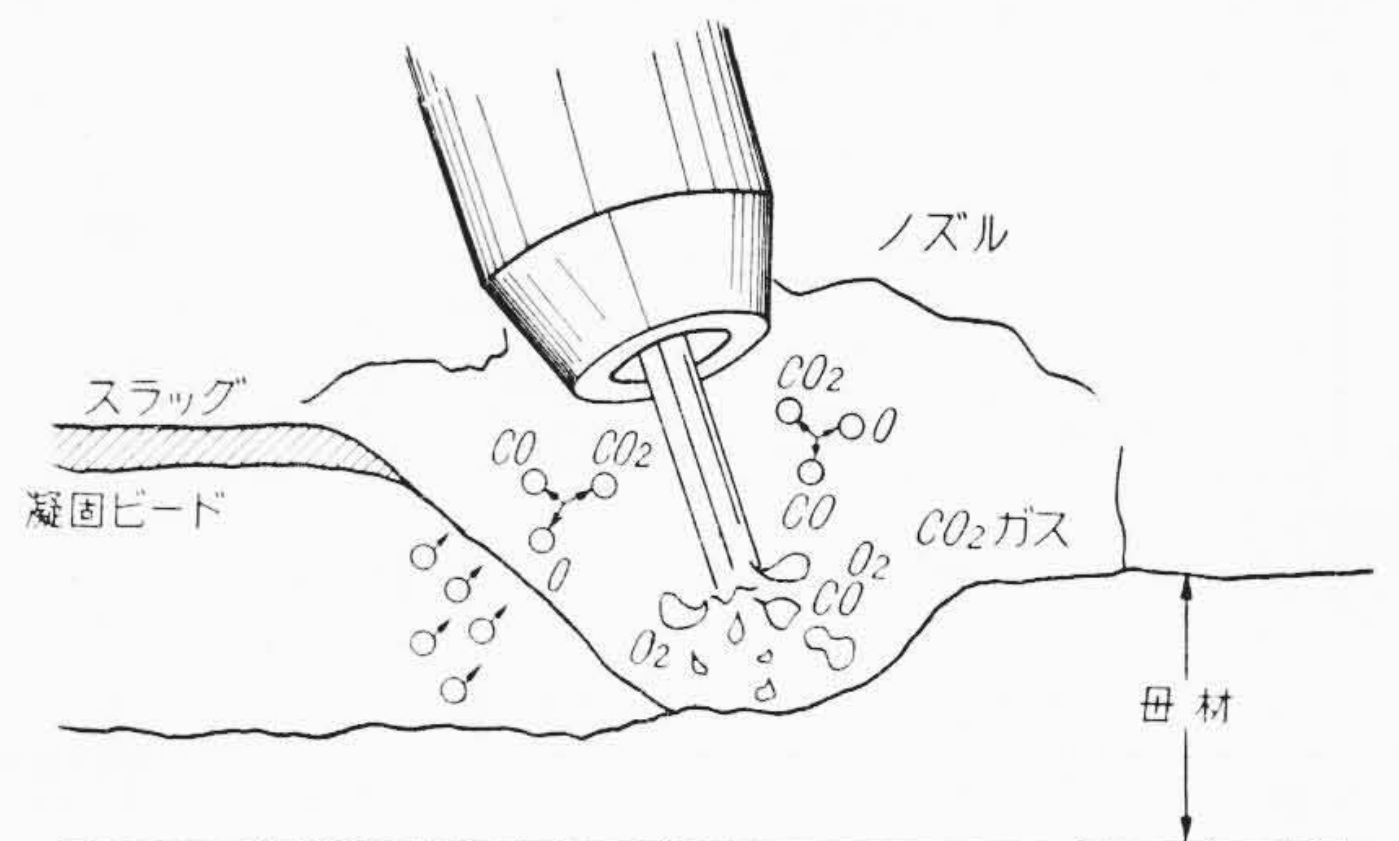


COガス気泡の大部分は浮上して大気中に逸散するが一部は熔着鋼中に残って気孔を作り熔接欠陥となる。したがって健全な熔接部

* 日立製作所亀戸工場



第1図 炭酸ガスの熱解離



第2図 炭酸ガスアーク熔接の原理

第1表 炭酸ガスアーク熔接法の種類

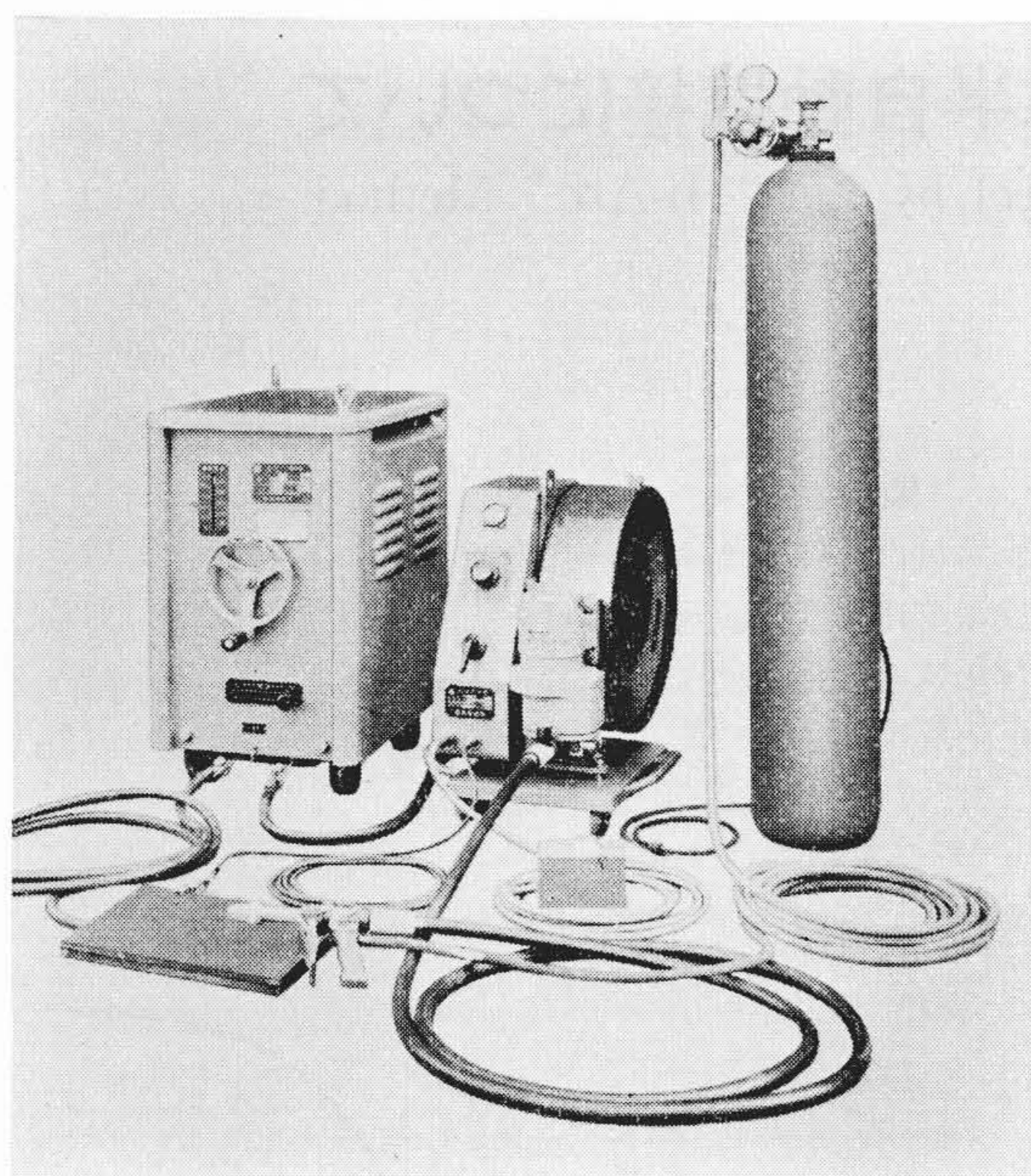
No.	熔 接 方 式	熔 接 電 源	制 御 方 式
1	純 CO ₂ ガス シールド 法	直流定電圧熔接機	定電圧制御
2	CO ₂ +O ₂ ガス シールド 法	直流定電圧熔接機	定電圧制御
3	CO ₂ ガス+磁性フラックス併用法	直流定電圧熔接機	定電圧制御
4	CO ₂ ガス+フラックス巻込線材法	交流または直流熔接機	アーク電圧制御

を得るには熔融鋼を脱酸することが必要で通常フラックスまたは線材中にMn, Siなどの脱酸剤を加えて熔融鋼中の酸素を除去している。

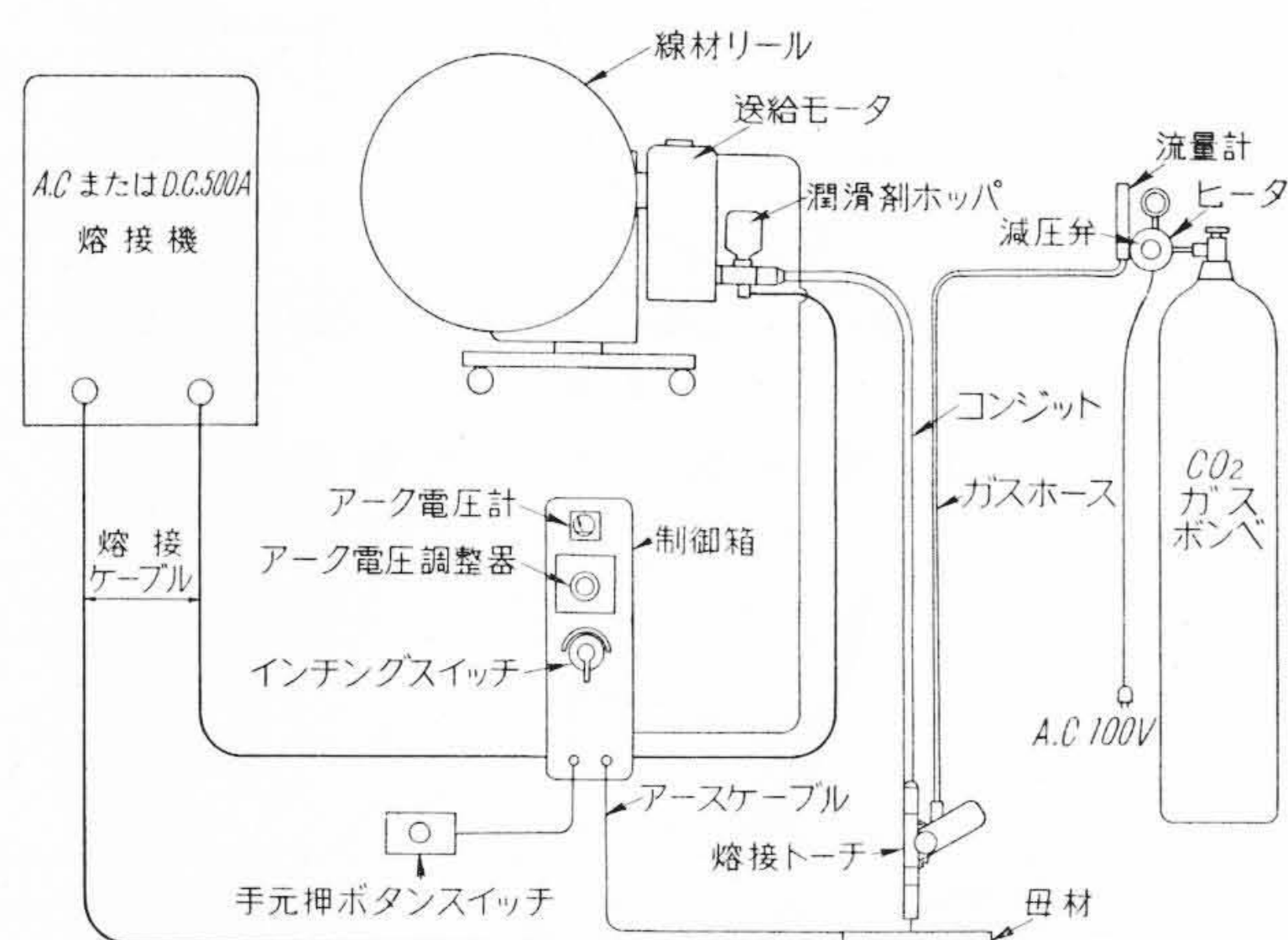
この反応は(3), (4)式のとおりで、生じた脱酸成生物は脱酸剤Mn, Siなどの適当な配合により流動性に富んだ浮揚しやすいスラグとなってビード外側をおおうため健全な熔接部が得られる。



なお熔着鋼の引張り、伸び、衝撃などの機械的性質を改善するためには脱酸成生物の形状、物理的性質についても考慮が必要で、線材中に使用するMn, Siなどの含有率に関して多くの研究が発表さ



第3図 ハイアーク 外 観



第4図 ハイアーク 系統図

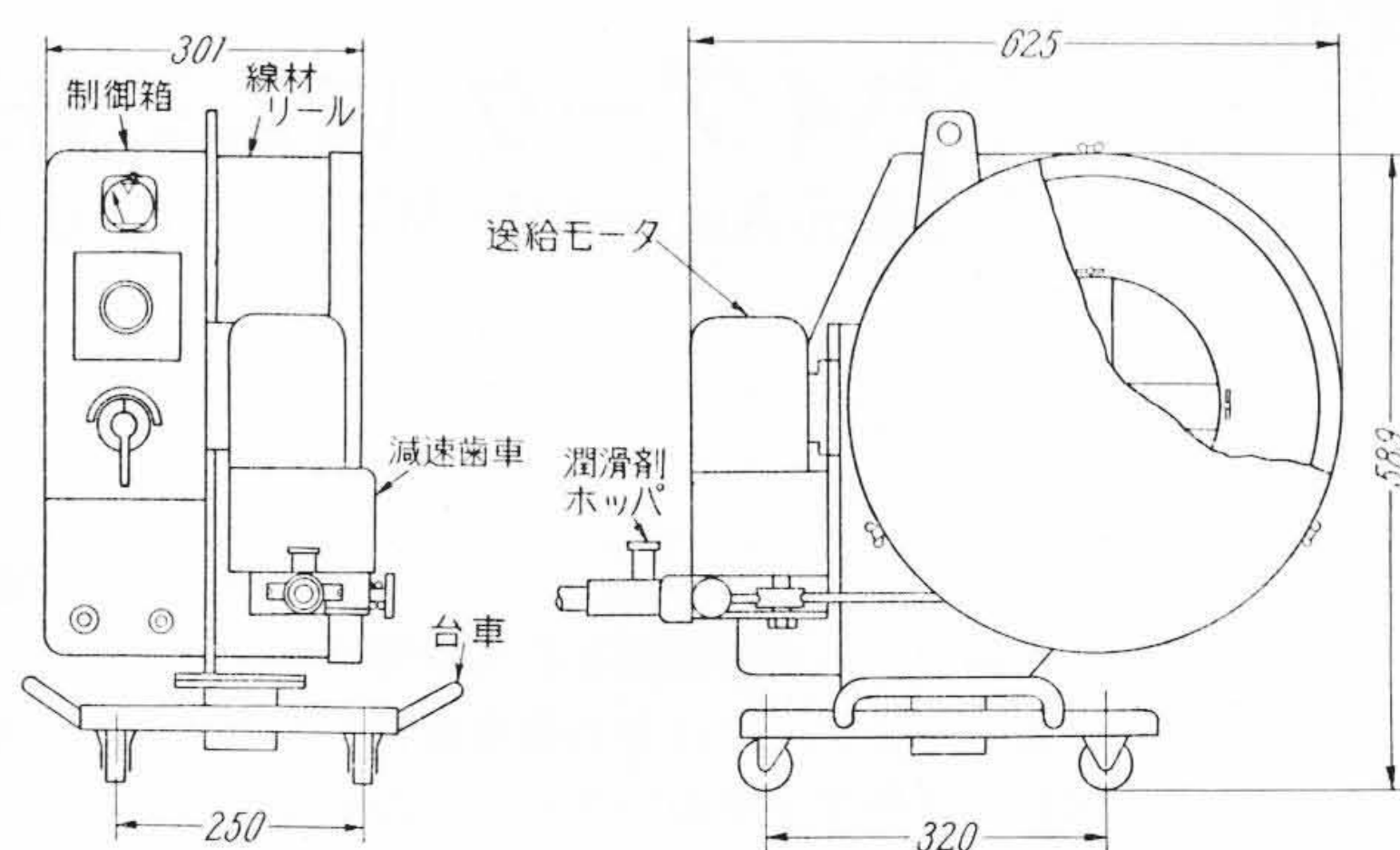
第2表 ハイアーク 要目表

形 式		T-D 2
溶接電源	種 類	交流または直流溶接機
	特 性	垂 下 特 性
	溶 接 電 流	300~500A
溶接線材	方 式	フラックス巻込式有心複合線材
	サ イ ズ	3.2 φ
線 材 送 給 速 度		1.5~3.5 m/min
コ ン ジ ャ ッ ト 長 さ		4 m
ト ー チ		C-510A 空冷式トーチ
炭 酸 ガ ス 流 量		15~20 l/min
重 量		約 50 kg

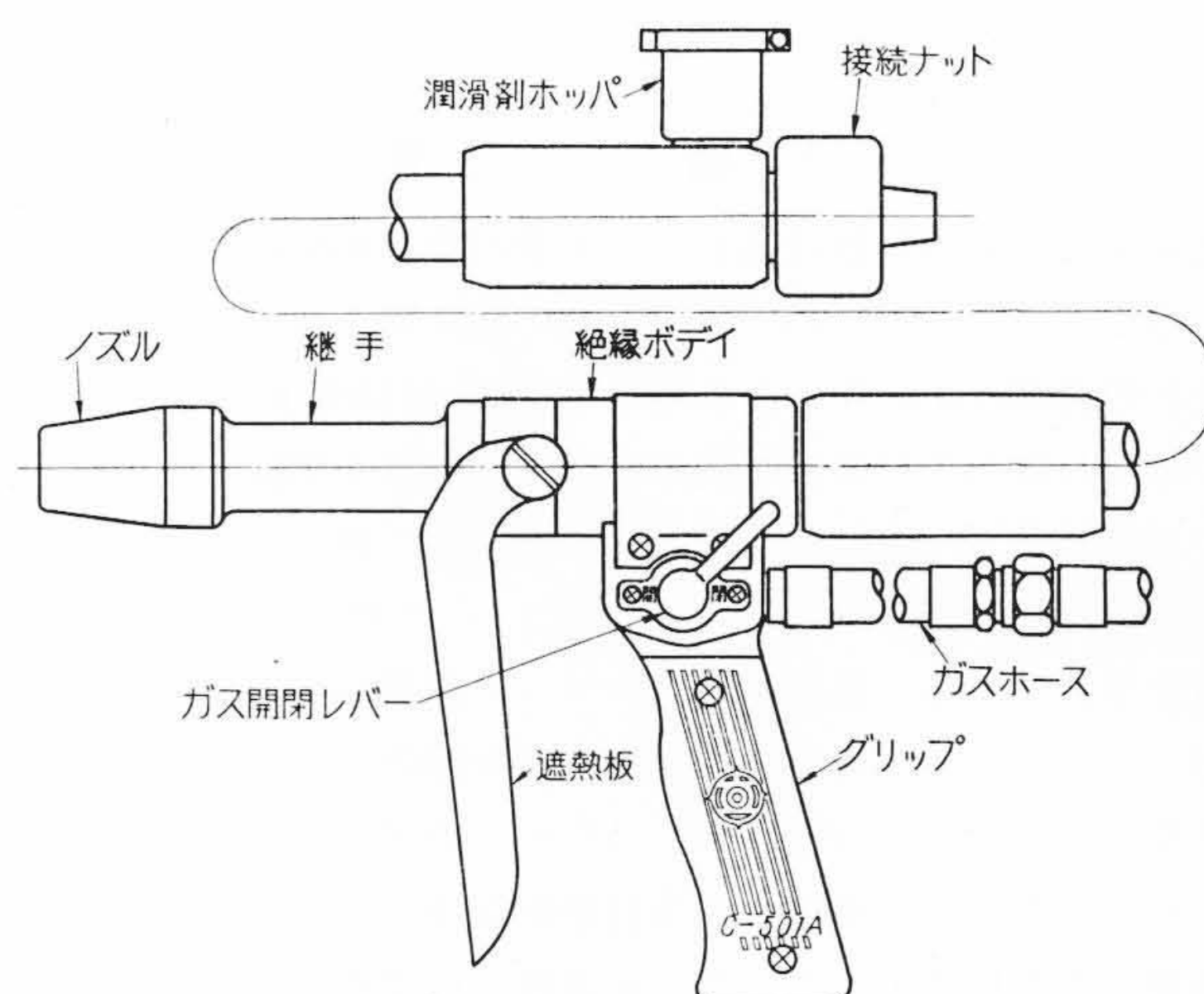
れている。現在実用化されている炭酸ガスアーク溶接法には第1表のようにいくつかの方法がある。

3. ハイアークの構造

ハイアークは第1表第4項の溶接方法による半自動溶接機でフラックスを巻き込んだ有心複合線材を自動送給し、アーク周辺を炭酸ガスでシールドしながら溶接を行なうものである。有心複合線材を使用するとアークの安定性がすぐれ既設の交流、直流溶接機のいづ



第5図 ハイアーク 本体寸法



第6図 溶 接 ト ー チ

れもそのまま電源に使用できるほか制御方式が簡単で実用性が高い。ハイアークは本体、溶接トーチ、溶接電源、炭酸ガスボンベなどを組み合わせて使用される。第3、4図に外観および系統図、第2表に主要目を示す。

3.1 ハイアーク本体

本体は制御箱、線材送給部、線材リールを移動車輪付台車上に回転自在に取り付けた構造である。制御箱は電動機用リレー、調整抵抗、インチングスイッチ、電圧計などから成り、溶接の開始、終了に応じ自動的に送給モータを運転停止するほか、インチングスイッチによる線材の正逆送、溶接時または無負荷時の電圧表示、手元押ボタンスイッチによるリモート操作（線材送給）を行なう。線材送給部は送給モータ、減速歯車、送給用絶縁歯車、加圧歯車などよりなり、アーク電圧に応じた速度で線材を送給する。線材リールには内径約 300 mmφ、重量約 20 kg の束が装着可能で透明絶縁カバー内に収納されており取り扱いが安全で残量の確認にも便利である。第5図は本体寸法図である。

3.2 溶接トーチおよびコンジット

溶接トーチ（第6図）は空冷式でチップ、ノズル、絶縁ボデー、ガスバルブその他よりなり、各部品材質は耐久性に富みかつ交換保守が容易なよう考慮されている。コンジットは中心部に線材の走路があり外側に通電用導体を配したもので本体およびトーチとは接続プラグで連結され容易に着脱できる。潤滑剤ホッパ内には微粉状潤滑剤を入れ線材のすべりをよくしている。

3.3 溶 接 電 源

ハイアークの電源は交流または直流いずれでもよく、500 A の容量のものを使用する。いずれを電源としても安定な溶接が可能であるが、特に直流機を用い逆極性で溶接を行なうとスパッタの少ない

美しいビードを得ることができる。

3.4 炭酸ガス圧力調整器

炭酸ガス圧力調整器は出口側に流量計を備え凍結防止用ヒータを組み込んだ一段減圧式で、低圧側圧力を $1 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ に調整するものである。流量計目盛は $1 \sim 20 \text{ l/min}$ で安全弁は 4 kg/cm^2 で動作する。ヒータは $100 \text{ V } 200 \text{ W}$ で自動温度調節器により $40 \sim 50^\circ\text{C}$ に保温するよう調整されている。

4. 熔接操作および動作の概要

第4図のように結線し、リール内に線材を装着してインチングスイッチにより線材がトーチ先端から $20 \sim 25 \text{ mm}$ 出るようセットする。圧力調整器ヒータに通電後低圧側圧力を $1 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ 、ガス流量を $15 \sim 20 \text{ l/min}$ に調整し線材を母材に触れるとアークが発生し、電流リレーが動作して送給モータにより線材送給が開始される。送給モータはアーク電圧により駆動されているためアーク長に応じて回転数が増減し自動的にアーク長を一定に保つ。熔接終了後アークを切ると電流リレーが復帰して送給モータに回制制動をかけ線材の送給が急速に停止し、そのまま次の熔接操作を行なうことができる。線材送給速度はアーク電圧調整器を「低」にセットすれば早くなり「高」にセットすれば遅くすることができる。熔接電流 $400 \sim 450 \text{ A}$ で使用する場合の調整位置がほぼ中央で、熔接電流の大小に応じて適宜にセットされる。

5. ハイアークによる熔接結果

5.1 熔接用線材

ハイアーク用有心複合線材は外径 3.2ϕ の連続した線材を内径約 300 mm 幅約 100 mm のコイル状に巻いたものである。線材は普通約 10 kg 単位に包装され防湿防錆(しゅう)のため外周をポリエチレンあるいは防湿処理紙でおったものや、これをさらにボール箱に収納したものが市販されている。線材は熔接結果に最も大きい影響を与えるもので内蔵フラックスの成分、内蔵率の検討、心線材質、断面形状の研究などが重ねられ一般軟鋼用としてすぐれた品質のものが完成している。

5.2 炭酸ガス

遮へいガスとして使用する炭酸ガスは水分含量が少なく露点の低いものが望ましく第3表に示す日本工業規格炭酸ガス中の第3種または熔接用第2種(水分含量 0.01% 以下)を使用するのがよい。

5.3 熔接性

5.3.1 熔接能率

ハイアーク熔接は手熔接に比べ大電流を使用して高い熔接能率を得ることができる。熔接電流と熔融速度、熔着効率の関係を測定した一例を第7図に示す。電源熔接機には交流 500 A を使用したもので、熔融速度は熔接電流の増加とともに急激に増加し熔着効率もともに高くなっている。

5.3.2 とけ込み深さおよびビード形状

平板上においたビードのとけ込み深さと電流値の関係を第8図に示す。水平および下向きすみ肉熔接のビード形状は第9図のように熔接速度、熔接電流によって脚長、のど厚を変化することができる。

第3表 炭酸ガス中の許容水分量 $\%$ (重量)

種別	$\text{CO}_2 \%$	水分許容量 $(\%)$ (重量)	に お い
1	>99.0	—	なし
2	>99.5	0.05	—
3	>99.5	0.005	—

(JIS K 1106)

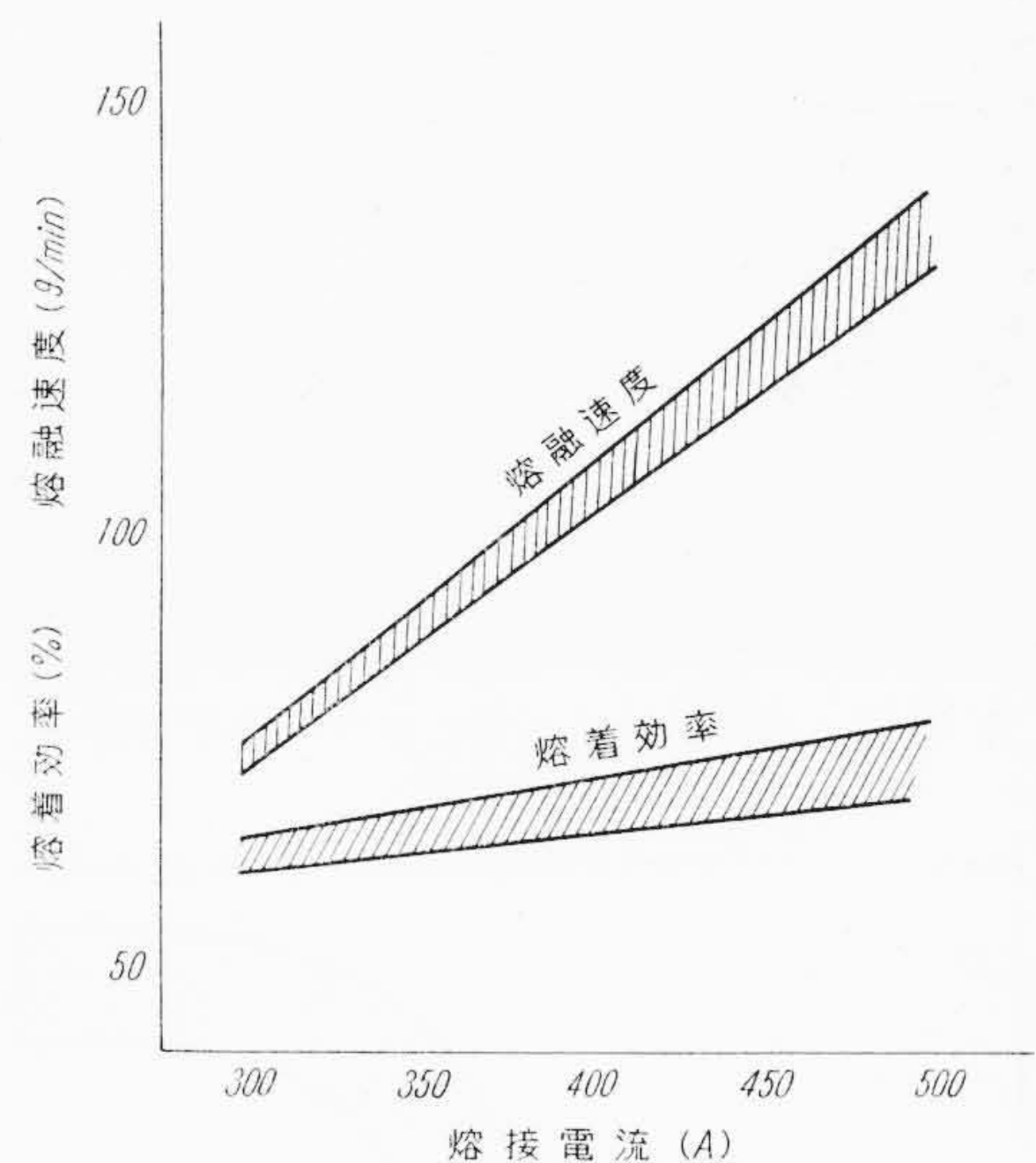
5.3.3 アークの安定性

第10図は直流および交流熔接におけるアーク電圧電流波形で変動が少なく交流熔接の際の再点弧電圧にも急しゅんなピーク電圧のない安定したアークを示す。

5.4 熔着金属試験

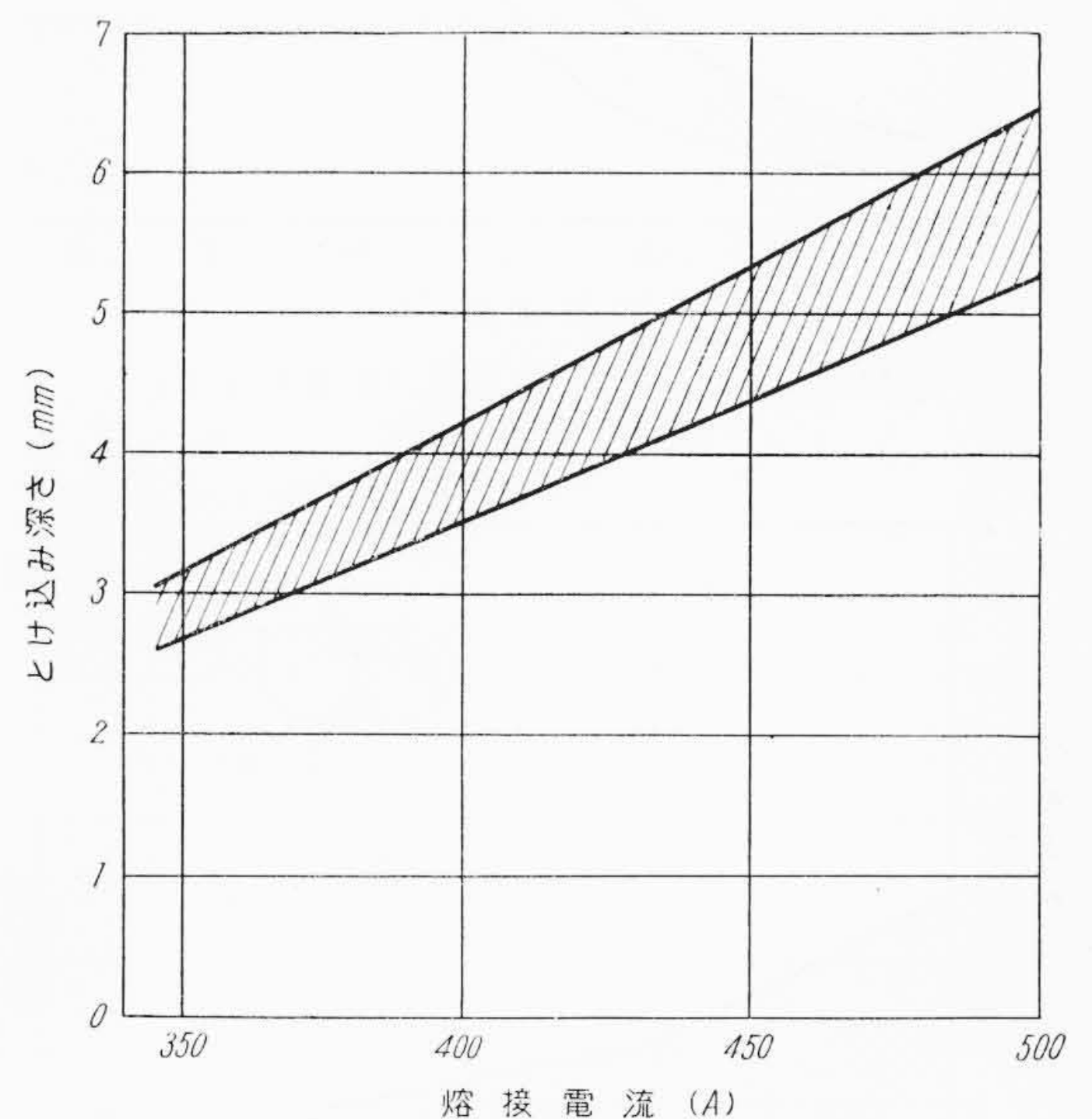
5.4.1 引張試験

全熔着鋼引張試験の一例を第4表に示す。熔着金属中の拡散性水素量は $0.02 \sim 0.04 \text{ cc/gr}$ 程度で破断面には銀点の発生は認められない。

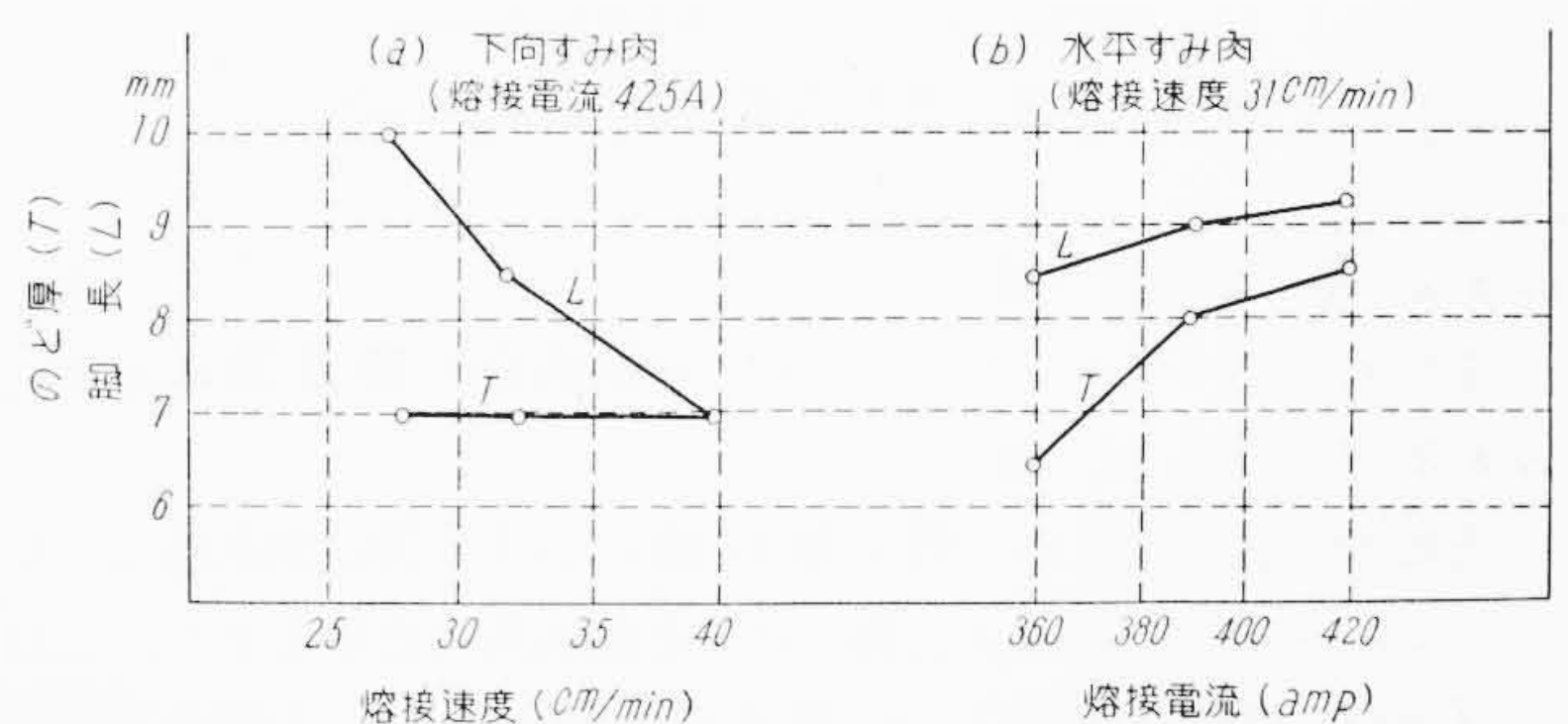


(交流 3.2ϕ 線材)

第7図 熔接電流と熔融速度熔着効率の関係



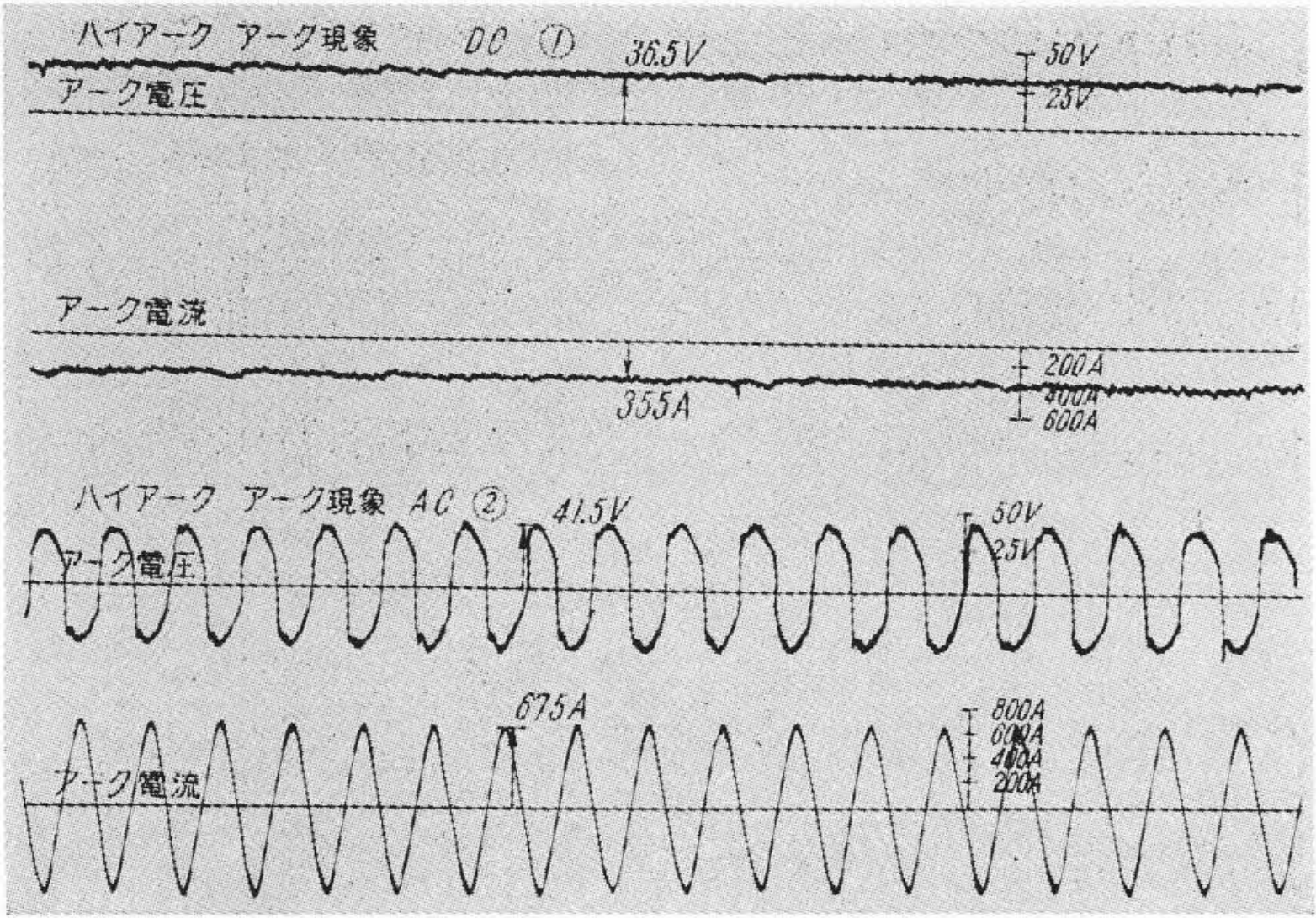
第8図 熔接電流ととけ込み深さの関係



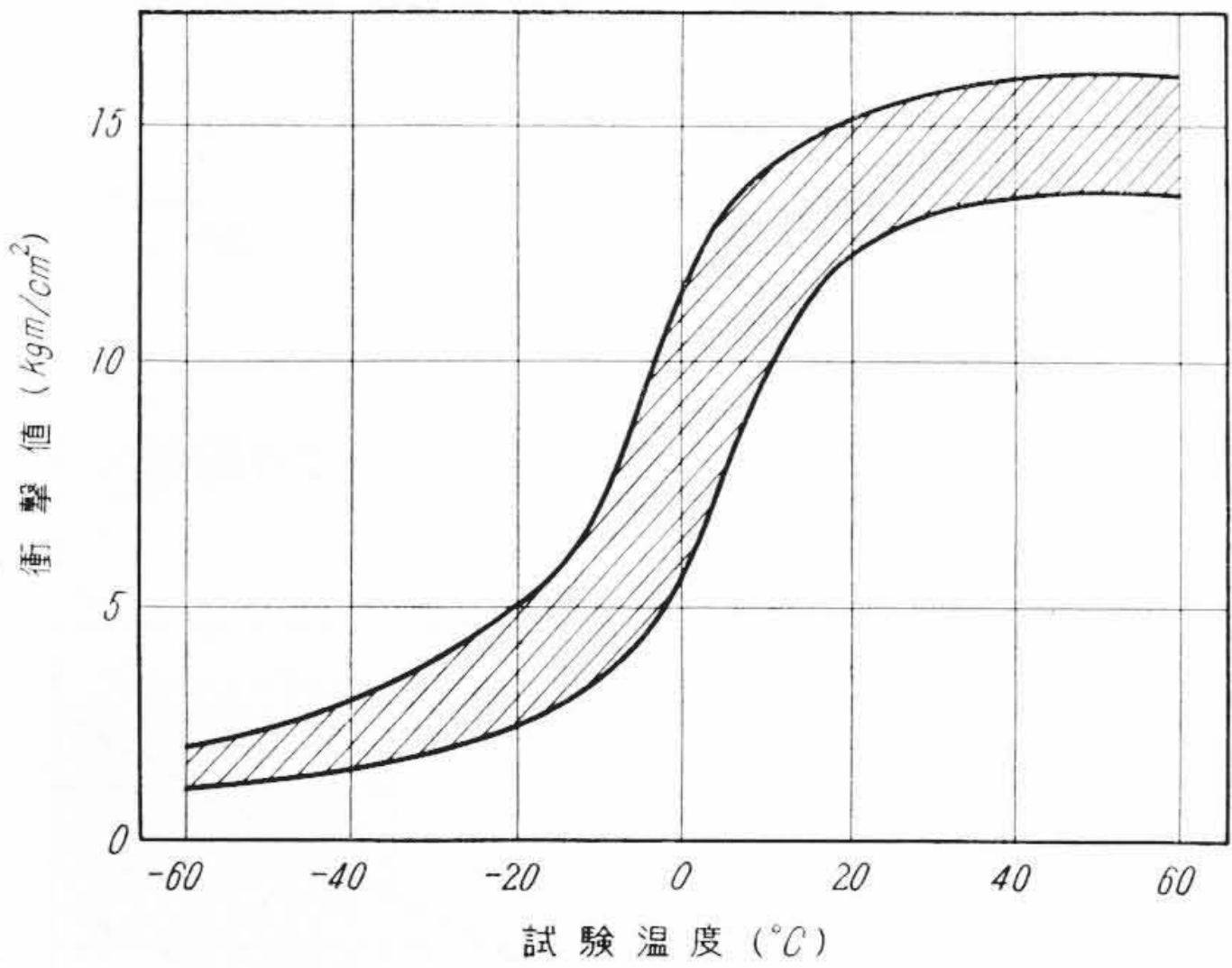
第9図 熔接条件によるすみ肉形状の変化

第 4 表 引張試験結果の一例

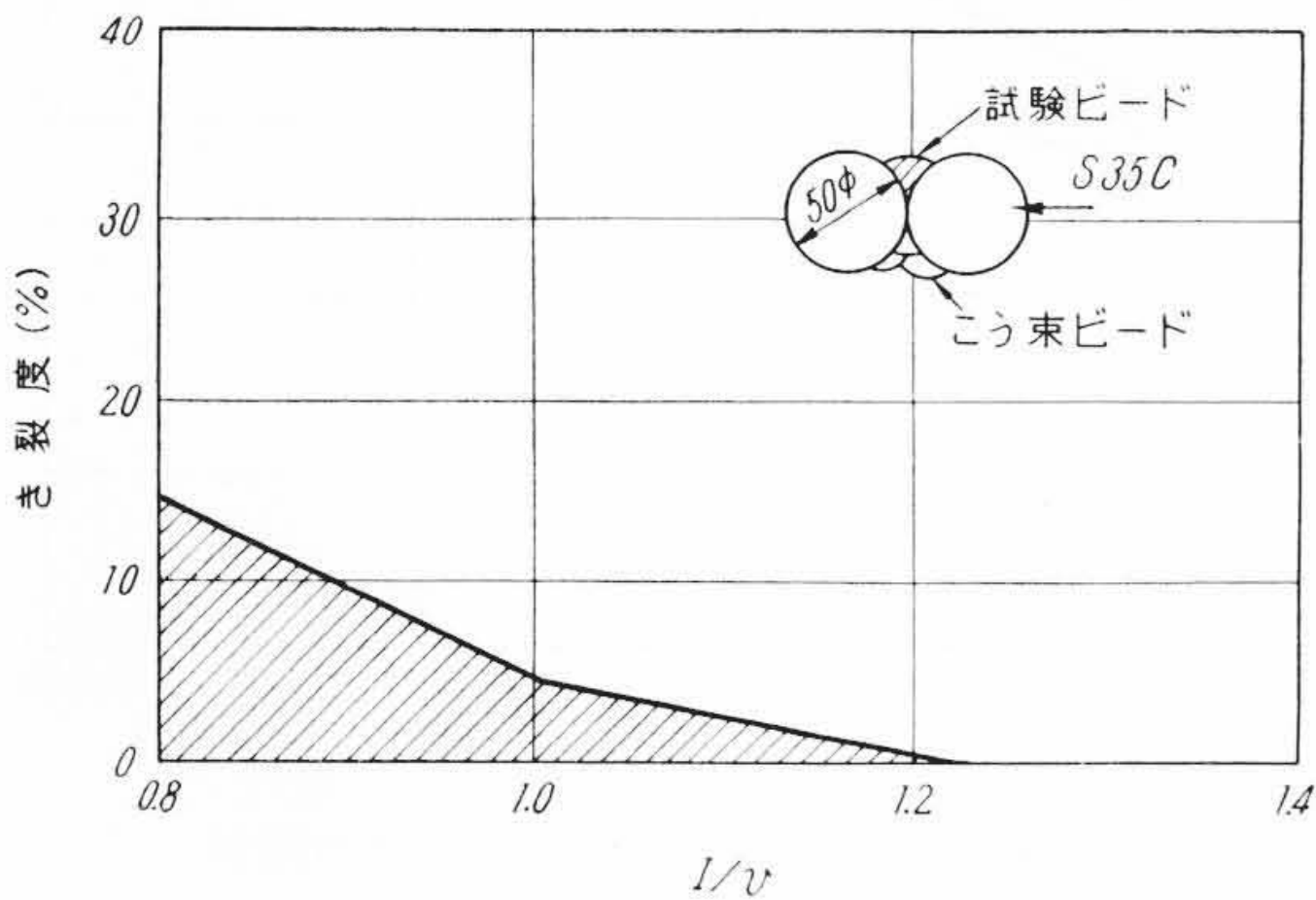
熱 処 理	降 伏 点 (kg/mm ²)	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	破 面 状 態
熔 接 の ま ま	48.3	54.9	31.3	69.7	良 好
620°C S.R	45.0	53.4	32.0	70.9	良 好



第 10 図 直流および交流における熔接波形



第 11 図 シャルピー衝撃値 (熔接のまま)



[I: 熔接電流(A) v: 熔接速度(mm/min)]

第 12 図 き裂感度と I/v の関係

5.4.2 衝撃試験

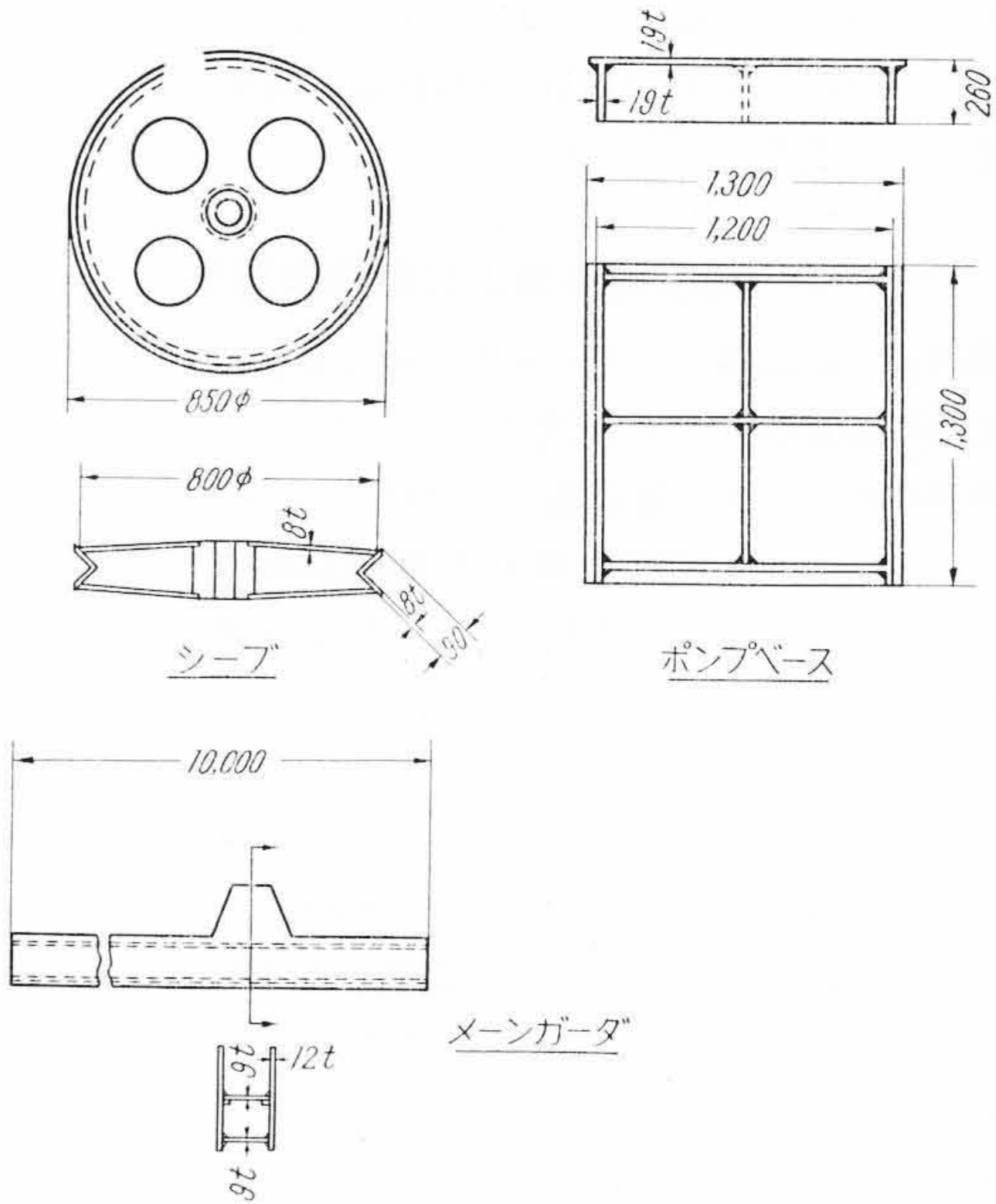
全熔着金属の V ノッチシャルピー試験結果を第 11 図に示す。

5.4.3 割れ試験

丸棒割れ試験結果の一例を第 12 図に示す。図は割れ感度としてクレータを除くビード全長に対する割れ長の比率をとり、これと I/v (I : 熔接電流(A), v : 熔接速度(mm/min)) の関係を示したもので通常の熔接では I/v の値は 1.0 以上であり割れ感度にも

第 5 表 熔着鋼化学成分の一例

S (%)	Mn	Si	P	S	N
0.07	0.78	0.40	0.014	0.020	0.005



第 13 図 熔 接 物 の 構 造

すぐれた結果を有している。

5.4.4 熔着鋼の化学成分

第 5 表に全熔着鋼から採取した試料の分析結果例を示す。

6. 経 済 性

ハイアークによる半自動熔接では一般にアーク発生率 30~50% 線材消費量 20~30 kg/1 日に達するから、これを手熔接の棒消費量 8~9 kg/1 日、熔着効率 50~55% と比較すると 2.5~3.5 倍の熔接能率を上げることができる。第 6 表はハイアークを使用して手熔接と経済比較を行なった数例である。ハイアークと手熔接では熔融速度、熔着効率に大差があるため三例とも作業時間に大幅な開きが見られる。第 13 図は第 6 表で実例とした構造物の形状を示している。

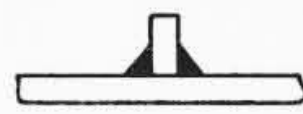
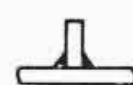
7. ハイアークの特長および応用分野

ハイアークによる熔接は手熔接に比べて多くの利点を持っているが、これらの特長を総括すると次のようである。

- (1) 熔接電源は交直両用で既設の交流または直流機をそのまま使用できる。
- (2) 熔接能率が手熔接の 2.5~3.5 倍に向上する。
- (3) 熔接コストは手熔接に比べ 20~30% 節減できる。
- (4) 熔着金属の機械性がすぐれている。
- (5) 熔着鋼中の水素量が少なくこれに起因する欠陥が見られない。
- (6) 熔接アークが安定で交流熔接においてもスパッタの少ない均一なビード形状が得られる。
- (7) 構造が簡単で操作に熟練を要せず保守整備が容易である。
- (8) 価格が安い。

これらの特長を生かしてハイアークを応用するのに適切な熔接構造としては熔接線が長く連続的に作業できるもの、ユニオンメルトが利用できない比較的小さいもの、ターニングロールなどにより回転しながら熔接できるものなどがあげられる。たとえば造船、車両、

第6表 作業能率と経済性の比較資料

品名	シーブ			ポンプベース			メーソングータ				
主要部材	L 8×90×90 8 t			19 t			9 t, 12 t				
熔接法	ハイアーク	手 熔 接		ハイアーク	手 熔 接		ハイアーク		手 熔 接		
継手形状											
姿勢	下 向			下 向, 水平すみ肉			下 向, 水平すみ肉				
パス No.	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2
熔 接 棒		4 φ FX-1	5 φ FX-1		5 φ FX-1	6.4 φ B-25			6.4 φ B-25	5 φ FX-1	6.4 φ B-25
全 熔 接 長 (m)	10	10		19	19		40	20	40	20	
熔 接 電 流 (A)	450	280	350	480	280	300	430	450	300	320	340
アーク発生時間 (分)	28	20	50	140	96.7	299	115	117	259	83	198
全 作 業 時 間 (分)	51	57	143	304	322	998	205	210	720	230	550
アーク発生率 (%)	55	35		46	30		56		36		
線 材 消 費 量 (kg)	3.55	1.15	3.45	19.85	5.3	21.2	14	14.7	18.2	5	14.8
デ ボ 量 (kg)	2.53	0.6	1.9	14.3	2.8	11.6	9.9	10.5	10	2.6	8.2
熔 着 効 率 (%)	71	52.5	55.1	72	52.8	54.7	71	71.5	55	52	55.4
熔融速度 (g/min)	127	57.5	69	142	54.8	70.9	121	125	70.3	60.3	74.8
熔着速度 (g/min)	90.2	30	38	102	29	38.8	86	89.5	38.6	31.4	41.4
熔接速度 (min/min)	357	143		136	48		384	171	154	71.2	
炭酸ガス消費量 (l)	448	—	—	2,240	—	—	3,720		—	—	—
⁽¹⁾ 線 材 価 格 (円)	1,030	460		5,750	2,600		8,320		3,800		
⁽²⁾ 炭酸ガス価格 (円)	50	—		246	—		410		—		
⁽³⁾ 諸経費および工賃 (円)	357	1,400		2,120	9,250		2,900		10,500		
全 熔 接 費 (円)	1,437	1,860		8,116	11,850		11,630		14,300		
比 率 (%)	77	100		68.5	100		81		100		
⁽⁴⁾ 作 業 能 率	1	3.9		1	4.35		1		3.6		

(1) ハイアーク線材単価 290 円/kg 手熔接線材単価 100 円/kg
(2) 炭酸ガス単価 0.11 円/l
(3) 諸経費および工賃は 1 分当り 7 円
(4) 全作業時間の比をハイアークの場合をそれぞれ 1 として表わす。

橋りょう，運搬荷役機械などの板厚 6～16 mm の小物組立すみ肉熔接，フランジ，鋼管，フインのすみ肉熔接，大量肉盛を要する補修熔接などは好適な熔接構造である。

8. 結 言

炭酸ガスアーク熔接法による半自動熔接機ハイアークの構造，熔接性，特長などを述べたが，本熔接法は今後熔接線材の開発と相まって高張力鋼を始め肉盛用薄板用など広範囲の分野に利用されるものと思われる。

最後にハイアーク熔接の実用化にあたり終始適切な助言とご協力をいただいた日立製作所亀有工場牧課長，横尾主任をはじめ関係各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

(1) G. R. Rothschild: Carbon-dioxide Shielded Consumable Electrode Arc Welding Weld. JI. 35 (1956) No. 1, 19-29
(2) 関口春次郎: 炭酸ガス被包アーク熔接法に関する最近の諸研究，熔接学会誌，26 (1957) No. 4, 57-67

Vol. 22

日 立 造 船 技 報

No. 3

- ・超大形油送船の横強度に関する研究 (第 2 報，実験結果の解析)
- ・プロペラ後流の速度場について (第 2 報)
- ・機械室用通風機の騒音について
- ・YND 鋼の工作および溶接に関する研究
- ・放電加工改良の基礎的研究 (Ⅱ)

——加工作用の検討 (その 2)——

- ・鋼板の常温曲線加工に対するショットブラスト加工の影響について
- ・外径研削時間算定基準の研究
- ・ドリル穴あけ上の諸問題について
- ・重荷重，極低速摩擦条件下における潤滑について
- ・若戸大橋塔柱架設工事概要報告

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町