

# プラズマ粉体肉盛溶接法によるアルミニウムの表面複合合金化

松田 福久\*・中田 一博\*・清水 茂樹\*\*・永井 健介\*\*\*

## 1 はじめに

アルミニウムおよびその合金（以下AlおよびAl合金と略す）は、強さ／比重の比が大きく、加工性、耐食性に優れているために、多くの製品に使用されているが、これらの製品の機能が高度化、かつ複雑化するにしたがい、AlおよびAl合金にさらに、耐摩耗性が要求されるようになった。このために、AlおよびAl合金表面に耐摩耗性が優れ、かつ厚皮膜を形成する技術の確立が強く要望されている。

本稿においては、プラズマ粉体肉盛溶接法（以下PTA法と略す）を使用し、Al合金表面に炭化物（NbC）および金属（NiまたはCu）を添加し、合金化することにより得られた耐摩耗性の優れた、肉盛金属の諸性質について2, 3の検討を行った結果について述べる。

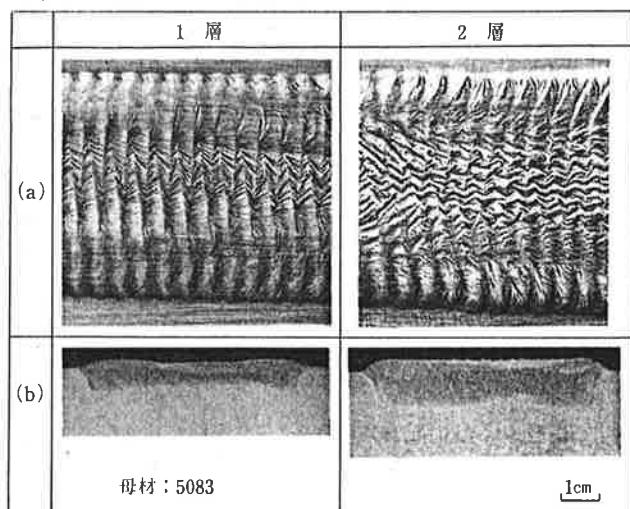


写真1 NbC肉盛金属ビード外観および断面マクロ組織  
(a)ビード外観 (b)断面マクロ組織

\*マツダ フクヒサ・ナカタ カズヒロ／大阪大学溶接工学研究所

\*\*シミズ シゲキ／エヌ・ディ・ケー加工センター(株)

\*\*\*ナガイ ケンスケ／トーカロ(株)

表1 5083母材化学成分(wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.35	0.23	0.09	0.47	4.15	0.16	0.19	0.01	Bal.

## 2 炭化物(NbC)による合金化

5083Al合金板にNbC粉末（100～250mesh）を使用し、PTA法（直流，正極法）により作製した肉盛金属の諸性質を以下に述べる。なお5083の化学成分を表1に示した。

1層および2層肉盛金属のビード外観および断面マクロ組織を写真1に示した。ビード表面および断面には欠陥は認められなかった。

1層および2層肉盛金属の顕微鏡組織を写真2に示し

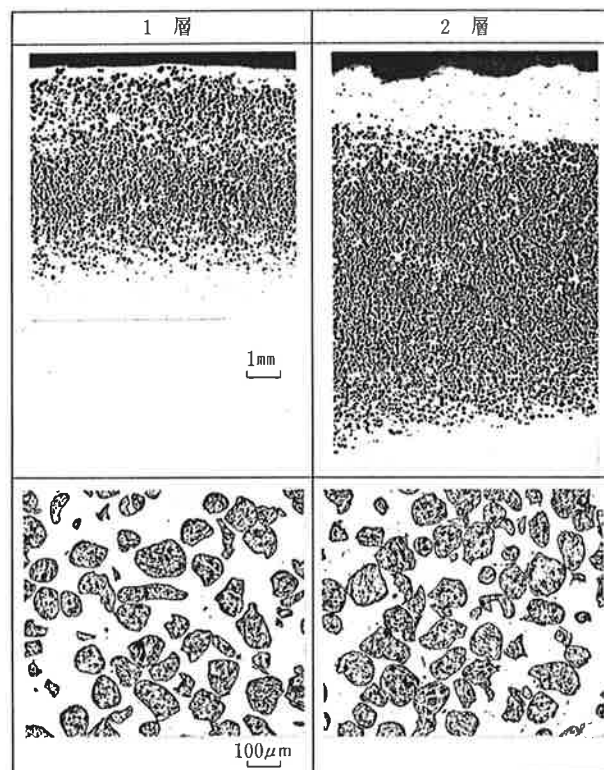


写真2 NbC肉盛金属顕微鏡組織(母材：5083)

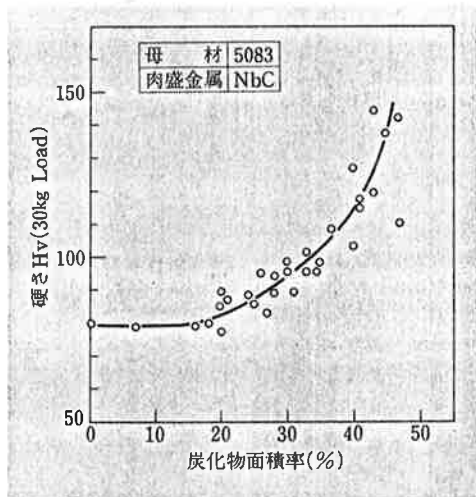


図1 NbC肉盛金属の炭化物面積率と硬さの関係

た。NbCは未溶解のままAl合金マトリックス中に分散した。肉盛金属とAl合金との境界部は健全であり、また肉盛金属表面はAl合金層に覆われ、2層になるとAl合金層の厚さが増加した。

NbC肉盛金属について、炭化物面積率と硬さの関係を図1に示した。炭化物面積率約20%以上において、肉盛金属の硬さはAl合金母材に比較して上昇し、約45%において肉盛金属硬さはHV約140に達した。

NbC肉盛金属の耐摩耗性を図2に示した。摩擦速度が小さい場合、NbC肉盛金属の耐摩耗性はAl合金母材に比較してほとんど変化しなかったが、摩擦速度が増大するとNbC肉盛金属の耐摩耗性は、Al合金母材に比較してきわめて良好となった。これはNbC肉盛金属は相手材S45Cとの間に凝着が発生しなかったためである。

### 3 金属(NiまたはCu)による合金化

5083Al合金板にNiまたはCu粉末を使用し、PTA法にて作製した肉盛金属の諸性質について以下に述べる。なお、NiおよびCu粉末の化学成分を表2に示した。

NiおよびCu肉盛金属のビード外観および、断面マクロ組織を写真3に示した。ビード表面には欠陥は認められなかったが、ビード断面にはポロシティが認められた。Cu肉盛金属に認められたポロシティを写真4に示した。

図3にNiおよびCu肉盛金属について、Ni, Cu含有量と硬さおよび割れの関係を示した。Ni, Cuが増大するにしたがって、肉盛金属の硬さが上昇した。肉盛金属中の同一含有量のNi, Cuに対する肉盛金属の硬さは、NiはCuに

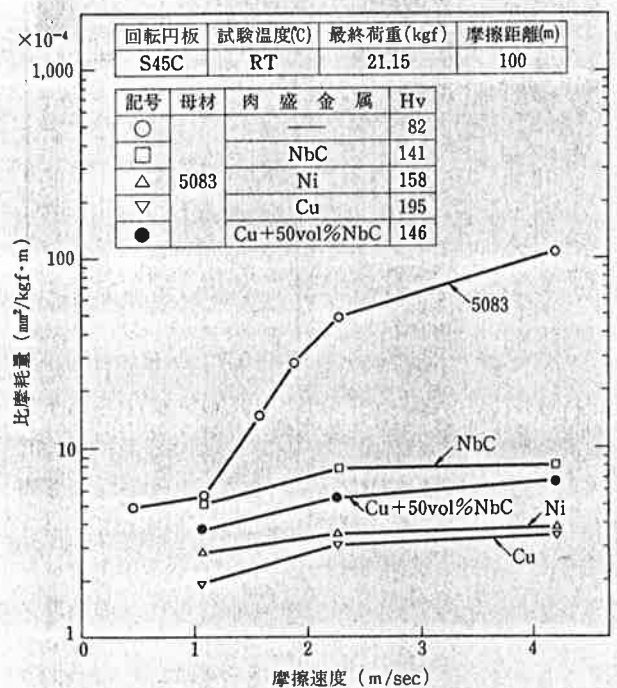
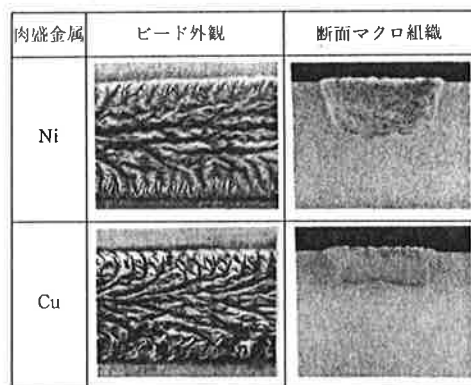


図2 肉盛金属の耐摩耗性



母材: 5083

1cm

写真3 Ni, Cu肉盛金属ビード外観および断面マクロ組織

比較して高く、またそれぞれの含有量が増大するにしたがって硬度が大になった。Ni肉盛金属についてはHV375, CuについてはHV245において割れが発生した。

Ni肉盛金属のSEM組織をAl-Ni平衡状態図に対応させて写真5に示した。Ni17.5wt%の場合は、初晶 $Al_3Ni$ およびAlと $Al_3Ni$ の共晶が認められた。Ni27.7wt%の場合は、 $Al_3Ni$ , Alと $Al_3Ni$ の共晶および $Al_3Ni_2$ が認められた。Ni36.2wt%の場合は、 $Al_3Ni$ , Alと $Al_3Ni$ の共晶および $Al_3Ni_2$ が認められ、 $Al_3Ni_2$ が凝集した部分に割れが発生した。なお、Ni27.7wt%, Ni36.2wt%において認めら

表2 NiおよびCu粉末の化学成分(wt%)

粉末	化学成分 (%)									
	Ni	Cu	Si	P	As	Sb	Bi	Pb	S	Te
Ni	88.7	7.9	2.3	1.2	—	—	—	—	—	—
Cu	—	299.96	—	—	≤0.003	≤0.005	≤0.001	≤0.005	≤0.010	≤0.010

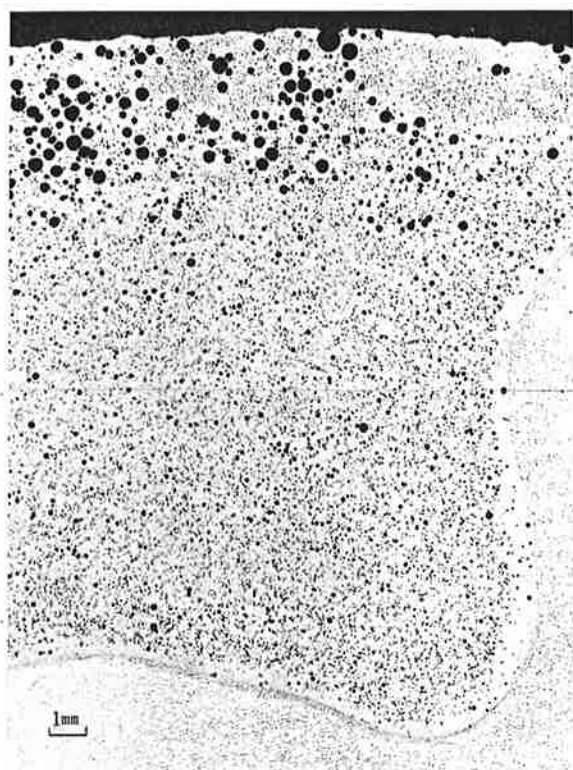


写真4 Cu肉盛金属に発生したポロシティ (母材: 5083)

れた $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ は平衡状態図には存在しないはずの相である。Ni55.1wt%の場合は、 $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ 、 $\text{Al}_3\text{Ni}$ および僅かであるが平衡状態図には存在しないはずのAlと $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ の共晶が認められた。 $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ が凝集した部分に割れが発生し、 $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ を貫通して割れが伝播した。肉盛金属の組織が平衡状態図と一致しないのは、溶接の急熱、急冷による包晶反応の未完了および溶接金属中のNiの偏析のためであると考えられる。またこれらの組織を図3に対比させると、Ni含有量の増加による肉盛金属の硬さの上昇は、 $\text{Al}_3\text{Ni}$ および $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ の増大によると考えられる。

Cu肉盛金属のSEM組織をAl-Cu平衡状態図に対比させて写真6に示した。Cu12.4wt%の場合は、初晶 $\alpha$ および $\alpha$ と $\theta$ の共晶が認められた。Cu20.6wt%の場合は、 $\alpha$ 、 $\alpha$ と $\theta$ の共晶および $\theta$ が認められた。Cu33.5wt%の場合は、 $\theta$ 、 $\alpha$ と $\theta$ の共晶および少量の $\alpha$ が認められた。Cu40.4wt%の場合は、 $\theta$ 、 $\alpha$ と $\theta$ の共晶および少量の $\alpha$ が認められた。この場合 $\theta$ は大きい柱状組織を呈し、割れは $\theta$ を貫通して伝播した。Cu20.6wt%において $\theta$ 、Cu33.5wt%および40.4wt%において $\alpha$ が認められたが、これらの $\theta$ および $\alpha$ は平衡状態図には存在しないはずの相である。これは溶接の急熱、急冷による溶接金属中のCuの偏析のためであると考えられる。

またこれらの組織を図3に対比させると、Cu含有量の増加による肉盛金属の硬さの上昇は、 $\theta$ の増大によると考

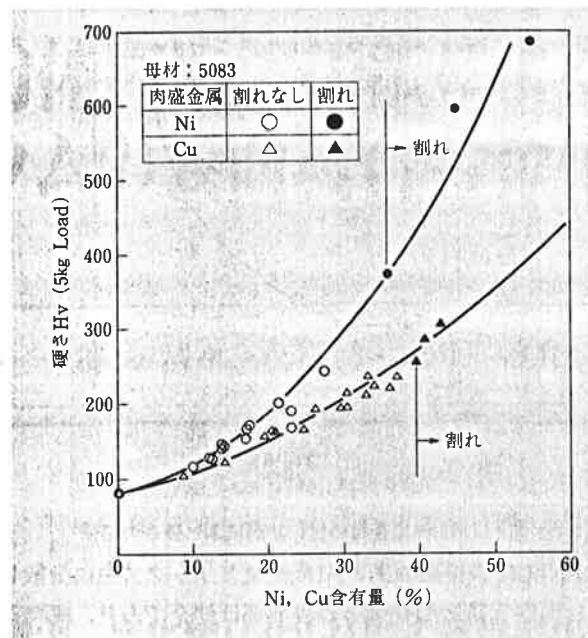
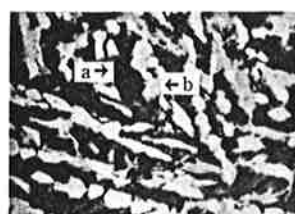
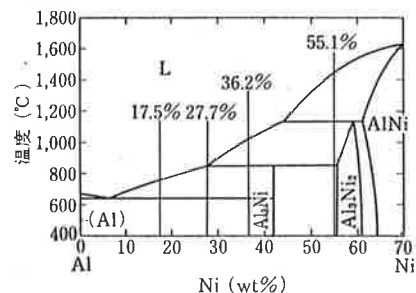
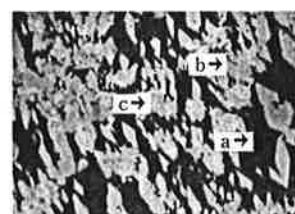


図3 肉盛金属のNi, Cu含有量と硬さおよび割れの関係えられる。

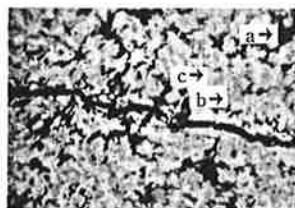
NiおよびCu肉盛金属の耐摩耗性をAl合金母材およびNbC肉盛金属と比較して図2に示した。Cu肉盛金属はNi肉盛金属に比較してやや優れた耐摩耗性を示した。NiおよびCu肉盛金属の耐摩耗性は、摩擦速度が小さい場合、



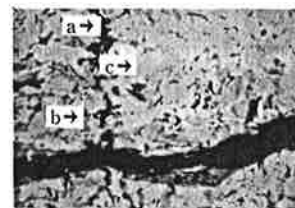
Ni: 17.5wt% Hv166



Ni: 27.7wt% Hv244



Ni: 36.2wt% Hv375



Ni: 55.1wt% Hv684

a: Al $\times$ Al $_3$ Niの共晶 b: Al $_3$ Ni c: Al $_3$ Ni $_2$

写真5 Ni肉盛金属 (母材: 5083) SEM組織

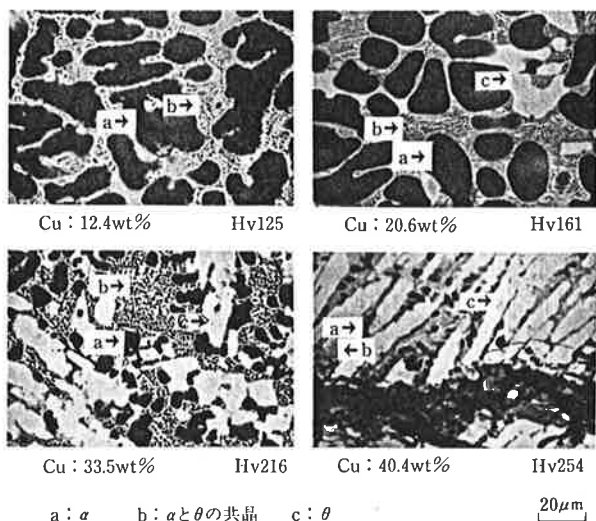
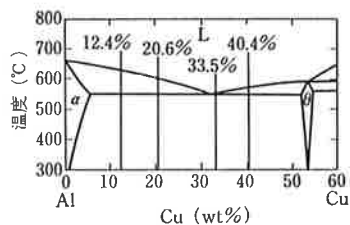


写真6 Cu肉盛金属 (母材: 5083) SEM組織

Al合金母材に比較してやや優れているに過ぎないが、摩擦速度が増大すると著しく改善された。またNbC肉盛金属に比較して約3倍の耐磨耗性を示した。Ni肉盛金属には硬いAl-Ni金属間化合物, Cu肉盛金属には硬い $\theta$ が分散して存在するためと考えられる。

#### 4 炭化物(NbC)と金属(Cu)による合金化

5083Al合金板にNbC粉末(100~250mesh)とCu粉末の混合粉末を使用し、PTA法(直流, 正極性)により作製した肉盛金属の諸性質について以下に述べる。

混合粉末については、Cu粉末に対するNbC粉末の混合比を30vol%, 50vol%, 70vol%とした。これらの肉盛金属

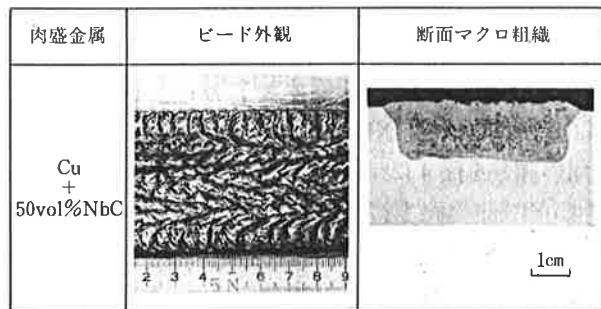


写真7 Cu+50vol% NbC肉盛金属ビード外観およびマクロ組織 (母材: 5083)

はそれぞれCu+30vol% NbC, Cu+50vol% NbC, Cu+70vol% NbCとして表示した。なおCu粉末の化学成分は表2に示した。

ビード表面に欠陥は認められなかったが、断面にはポロシティが認められ、ビード表面はかなり厚いAl合金層で覆われた。Cu+50vol% NbC肉盛金属のビード外観および断面マクロ組織を写真7に示した。

Cu+50vol% NbC肉盛金属の顕微鏡組織を写真8に示した。NbCは未溶融のままAl-Cu合金マトリックス中に分散した。マトリックス合金には $\alpha$  (丸みのある白色部),  $\alpha$ と $\theta$ の共晶 (黑色部) および僅かであるが $\theta$  (角のある白色部) が認められた。

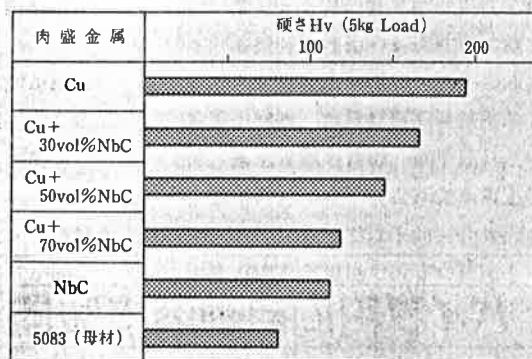


図4 Cu+NbC肉盛金属の硬さ

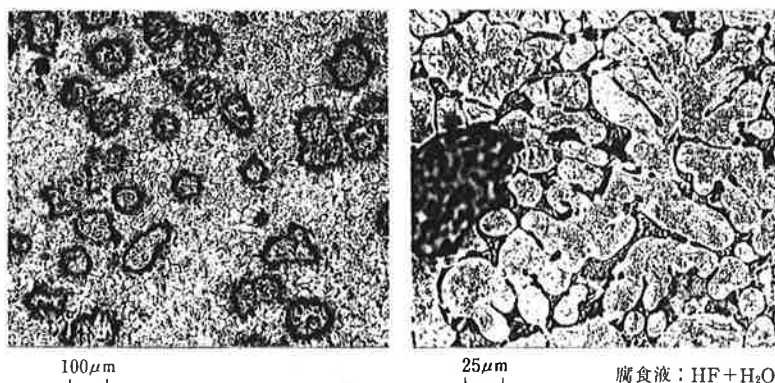


写真8 Cu+50vol% NbC肉盛金属顕微鏡組織



肉盛金属中のNbCが増加するにしたがって $\alpha$ が増大し、共晶および $\theta$ が減少した。

同一溶接条件において作製したCu, Cu+30vol% NbC, Cu+50vol% NbC, Cu+70vol% NbC, NbC肉盛金属の硬さを図4に示した。Cu+NbC肉盛金属の硬さは、Cu肉盛金属硬さとNbC肉盛金属硬さの中間の値を示し、NbC含有量が増大するにしたがって低下した。肉盛金属硬化に対する寄与はNbCはCuに比較して小さい。

Cu+50vol% NbC肉盛金属の耐摩耗性を図2に示した。Al合金母材に比較して良好な耐摩耗性を示した。前述した肉盛金属と比較すると、Cuはもっとも耐摩耗性が優れ、Ni, Cu+50vol% NbC, NbCの順になった。これは肉盛金属の硬さに対応した。

## 5 今後の課題

- (1) NiまたはCu肉盛溶接の際、肉盛金属に多数のポロシティが発生した。ポロシティ発生原因および防止対策について検討する必要がある。
- (2) NbC肉盛金属において、得られた最高硬さはHv140(炭化物面積率45%程度)である。Ni, Cu肉盛金属についてはHv200程度であり、これ以上になると割れ発生の可能性が大きい。Cu+NbC肉盛金属の硬さ

についても、Cu肉盛金属最高硬さHv200以上を得ることは困難であると考え。金属および炭化物の種類、炭化物粒度の微細化などについて検討し、肉盛金属の硬さをさらに増大する必要がある。

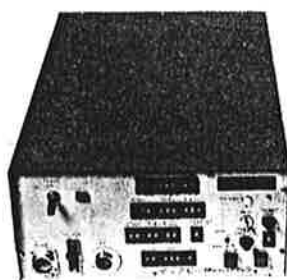
- (3) 炭化物および金属肉盛材の耐摩耗性については、相手材の機械的特性による影響、摩耗条件による影響、さらに炭化物肉盛金属については、炭化物粒度の影響について検討する必要がある。
- (4) 本稿で述べた結果は、直流、正極法のPTA法を使用した場合であるが、直流、逆極性および交流のPTA法についても検討する必要がある。

## 6 おわりに

PTA法は、Al合金表面への炭化物および金属による合金化について、Al合金表面に添加する肉盛材料の種類および量の選定が容易であり、かつ母材との接合性の優れた厚い皮膜が得られるために、もっとも実用性の高い方法であると考えられる。しかし、本稿で述べたように、施工法については肉盛金属に発生するポロシティおよび割れ防止対策および製品への適用範囲拡大のための肉盛金属の硬さおよび耐摩耗性の向上などの課題がある。今後これらの課題解決のために広範な研究が必要である。

### パイプ円周自動溶接装置

## ティグピー



価格改訂

お求め易くなりました。お問合せください。



## TIGPY

溶接ヘッド 90A~150A用 (P-1)  
50A~80A用 (P-2)  
40A, 50A狭間隔用 (P-3)

高品質を経済価格で実現。  
簡単操作で誰でもプロの仕上り

### 特長

- ①お手持ちのTIG溶接機がそのまま使用可能
- ②円周360°を同一溶接条件で施工
- ③各バスの溶接条件をメモリーによりワンタッチ設定
- ④タッチスタート方式
- ⑤AVCによるアーク長一定制御
- ⑥ワイーピング機構搭載
- ⑦リンクギア駆動方式によるスムーズで確実な走行
- ⑧コンパクトで軽量の溶接ヘッド



株式会社スガテック

〒101 東京都千代田区東神田2-3-10  
TEL 03-861-9201 FAX 03-866-8960