

© 1989 ISIJ

## 解説

# 粉末を用いたプラズマ肉盛溶接法の現状

加藤 哲男\*・竹内 宥公\*<sup>2</sup>

## Present Condition of Hardfacing by Plasma Arc with Powder Fillers

Tetsuo KATO and Yukou TAKEUCHI

### 1. はじめに

プラズマとは、原子が分離して陽イオンと電子になりほとんど等量に混在して電荷が零になっている特殊なガス体と定義されている。広義にはアーク放電におけるアーク柱もプラズマであるが、一般には、プラズマガスなどの冷媒によつて収束されたアーク柱をプラズマといっている。図1のように、TIGアーク(Tungsten Inert Gas arc)と比べると熱の集中性が高く高温状態が得られやすいのがプラズマの特長である。

本題の「粉末を用いたプラズマ肉盛溶接法」は、このプラズマの特長を活用することにより、近年急速に実用化段階に至った新しい技術で、一般にPTA(Plasma Transferred Arc)法<sup>1)</sup>、あるいは、PPW(Plasma Powder Welding)法<sup>2)</sup>と呼ばれている。両方法ともに、トランスファードタイプのプラズマアークが使用されて

おり、ノントランスファードタイプのプラズマアーク、あるいは、通常のTIGアークと比べて、熱効率が高く、投入熱量のコントロールが容易とされている。

肉盛の材料、すなわち、溶接フィラー材として、粉末を使用しており、棒状フィラー材を用いる肉盛法と比べて以下の特長がある。

- (1) 溶融しやすく、溶融速度が早い。
- (2) 多種多様の材料の肉盛が可能である。
- (3) 溶着歩留りを向上できる。
- (4) 自動化ができる。

この技術が紹介されたのは、既に十数年前に遡るが、当時は電流値や粉末供給量の制御が十分でなかつたうえに、良い粉末が得にくかつたなどのために日本ではなかなか実用化に至らなかつた。近年になつて、粉末を用いた肉盛溶接が急速に実用化されるに至つたが、その背景には、制御技術など各種技術の進歩に加えて、肉盛による部品の高品質、高性能、高寿命化ニーズの高まりがある。本稿では、粉末を用いたプラズマ肉盛溶接法の技術の現状について、適用状況を含めて紹介するつもりである。関係分野の方々のご参考に供したい。

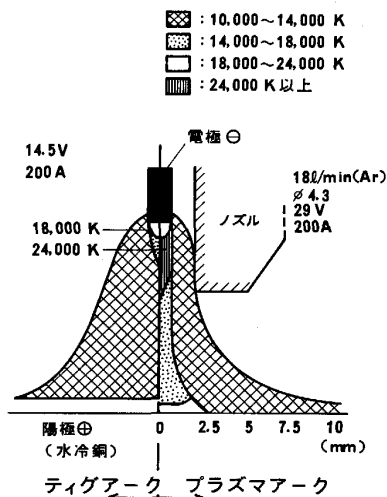


図1 ティグアークとプラズマアークのプラズマ柱の温度

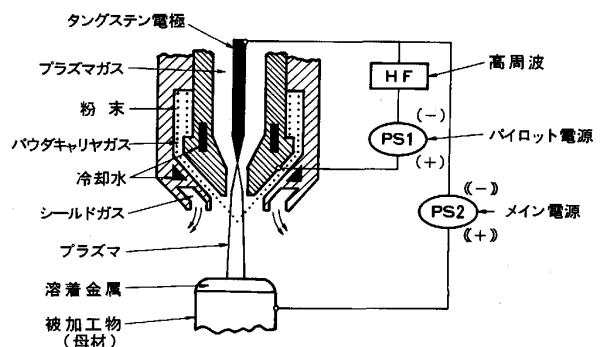


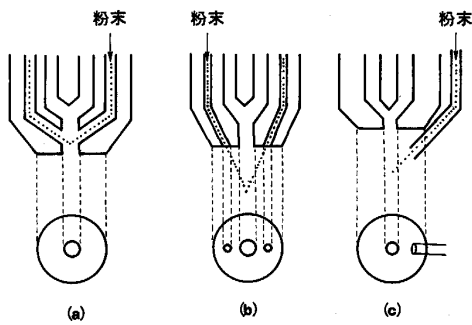
図2 粉末プラズマ肉盛溶接法の原理

昭和63年7月21日受付 (Received July 21, 1988) (依頼解説)

\* 大同特殊鋼(株)常務取締役 工博 (Daido Steel Co., Ltd.)

\*<sup>2</sup> 大同特殊鋼(株)中央研究所研究第一部第6研究室室長 (Research Section No. 6, Research Department No. 1, Central Research Laboratory, Daido Steel Co., Ltd., 2-30 Daido-cho Minami-ku Nagoya 457)

Key words: plasma powder hardfacing; plasma arc; TIG (Tungsten Inert Gas) arc; powder filler; carbide; vacuum or low pressure atmosphere; automobile engine valve; hard facing with hard particle dispersion.



(a) 内ノズル式 (b) 外ノズル式 (c) 分離ノズル式  
図 3 粉末投入方式によるトーチの3形態

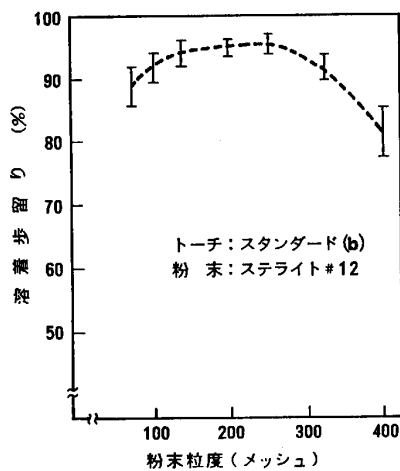


図 4 粉末プラズマ溶接法の溶着歩留りと粉末粒度の関係

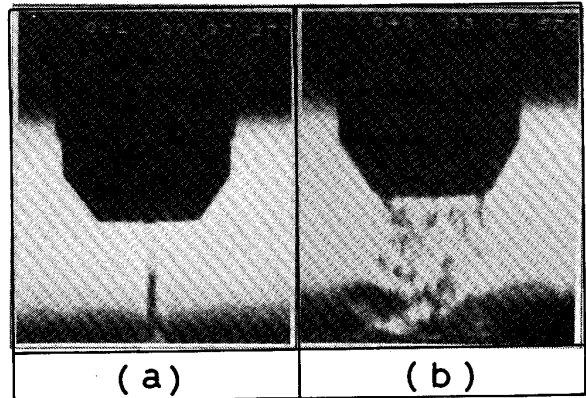
## 2. 粉末プラズマ肉盛溶接法の原理

粉末プラズマ肉盛溶接法の原理を図 2<sup>3)</sup>に示す。

図において、タングステン電極(-)と被加工物(+)との間に発生させたメインアークは、プラズマガスと水冷した内側ノズルとによつて冷却され、収束されてプラズマ柱となっている。このプラズマ柱の中へ、プラズマ柱とある角度を持つノズルから粉末フィラーが投入される。プラズマアークによつて粉末は溶融され、被加工物の上に達した後、その表面に溶融溶着される。

粉末の送給(投入)方法によるトーチの分類を図 3に示す。

(a)プラズマ柱がトーチの外部に出る前に、すなわち、トーチの内部で粉末が投入されるタイプ(内ノズル式)のトーチ、(b)トーチの外部に出てから粉末が投入されるタイプ(外ノズル式)のトーチ、(c)トーチと別のノズルから粉末が投入されるタイプ(分離ノズル式)のトーチがある<sup>4)</sup>。これらについて粉末はある角度をもつて投入されるから、それが細かすぎると、粉末がプラズマ流に吹き飛ばされて歩留りが悪くなる。一方、粉末が大きすぎると未溶融のまま被加工物に達し、溶着さ



(a) プラズマガスの流れ (b) シールドガスの流れ  
写真 1 シュリーレン法によるガス流の検討例

表 1 表面硬化処理法別膜の特性の比較

	接合強度	耐衝撃性	硬化層の厚さ
粉末プラズマ肉盛溶接	強い	強い	厚い (1~5 mm)
気相反応法 (PVD, CVD)	弱い	弱い	薄い (5~100μm)
溶射法	弱い <sup>(*)</sup>	弱い	やや厚い (0.1~1.0mm)

注:(\*)- 基本的には被膜- 基材間は機械的接合

れない。粒度と溶着歩留りの関係を示す一例を図 4に示す。図のように、前図(b)トーチで粉末歩留りを高く保つには、粉末粒度に最適値があり、おおよそ、80メッシュから350メッシュまでが適当といえる。溶射法ではガスの吹きつけ力で粉末を飛ばすため300メッシュ以下の微粉末が適当<sup>5)</sup>とされているが、これと比べると粉末プラズマ溶接法では、やや大きめの粉末を使用することができるので、送給コントロールも容易である。

使う粉末や被加工物による多少の差異はあるが、本溶接法においては、トーチが最重要部であり、シールド性や、粉末の流れ、プラズマガス流の設計がその成否を決することになる。そこで、写真1のようなガス流の検討、最適化の試みがシュリーレン法を利用してなされている。

## 3. 特 長

まず、表面改質技術としての粉末プラズマ肉盛溶接法を、溶射法や気相反応法との比較を表 1<sup>6)7)</sup>に示した。

気相反応法である PVD や CVD は、膜厚が薄く、衝撃摩耗に弱い。一方、溶射法は膜厚がやや厚くなるが、まだ、薄いうえに剝離しやすい欠点がある。これに比べて、粉末プラズマ肉盛は肉盛膜厚が比較的厚く、肉盛部の強度が大きい。また、完全溶着であるため衝撃摩耗に

強く、剥離しにくい特長がある。

ついで、肉盛技術としての従来法との比較を、粉末プラズマ肉盛法の特長として掲げる。

(1)粉末使用によつて生じた特長

(a) 高速溶接が可能 (TIG, GAS 溶接の 1.5~5 倍)。

(b) 粉末の肉盛材を節約可能 (棒状との比較で肉盛材の 15~40 wt% 節約)。

(c) 大きさの異なる多種の被加工物にも適用可能 (大きい例: ロール, 小さい例:  $\phi 5$  mm の軸端部)。

(d) 自動溶接が可能。

(e) 超硬肉盛が可能 (NbC など硬質粒子分散肉盛)。

(f) 組織が微細, かつ, 緻密。

(g) 希釈率の小さな肉盛可能 (希釈率: 5~15%)。

(2) プラズマ利用によつて生じた特長

(a) 溶接部が高品質。

(b) 溶接歪みが少ない (1/2~1/3)。

(c) 難溶接材にも適用可能 (SUH 3, SUH 11,

Inconel 751)。

(d) 鋳物へのトリバロイ材などの肉盛が可能。

(e) 円筒状内面肉盛が可能。

(3) 自動制御機利用によつて生じた特長

(a) コンピューターコントロールによる完全自動溶接が可能。

(b) 予熱・後熱の省略が可能。

(c) 希釈率の低減が可能。

(d) 溶接歪みが少ない。

肉盛作業は、さわめて最近まで、熟練工の手作業にたよつてきた。この意味で自動肉盛が可能になつてきたことは大きな進歩であるといえる。他の方法による肉盛は、例えば、バンドアーク溶接では帯状電極で、TIG, MIG 溶接ではワイヤー状電極を使用することなどにより自動

化を図っている。しかし、高硬度材は圧延のできないため、その自動化が困難となつている。これに対して、いかなる難加工材でも、それを粉末にすることは通常比較的容易であつて、これにより従来自動化できなかった材料の自動肉盛溶接が可能となつた意義が大きい。

溶射法でも粉末を利用するので自動供給は可能であるが、不完全熔融の吹きつけ溶着で、作動が不安定であるため、自動化が難しいとされている。加えて、溶射部が、脆く、熱衝撃・高荷重下の耐摩耗性が溶接法に比べて低いようである<sup>7)</sup>。

#### 4. 粉末プラズマ肉盛溶接用装置

本溶接装置は、図 5 のような五つの構成部分①粉末送給装置、②プラズマトーチ、③プラズマ電源、④冷却水循環装置、⑤制御装置から構成されている。被加工物の形態と関連して数種類の形態になる。

(1) 自動車バルブ用自動肉盛機<sup>2)3)8)9)</sup> (写真 2(a))

自動車バルブのシート面を肉盛する装置であり、通常、被加工物の給排装置と回転装置が付けられる。

(2) ロールなどの汎用溶接機<sup>10)11)</sup> (写真 2(b))

ロール、ローラーなどの肉盛溶接装置であり、マニピレータ、回転テーブル、トーチのオシレート装置などが付く。

(3) 内面肉盛装置

パイプの内面を肉盛するために、トーチが横長型の円筒内面用プラズマトーチが用いられる。

(4) 複合肉盛装置<sup>12)</sup>

複数個の粉末送給装置が備えられ、例えば、一方にセラミックス粉を入れ、他方に合金粉を入れ、それぞれをコントロールし粉末送給を行う。

(5) 減圧下粉末プラズマ肉盛装置

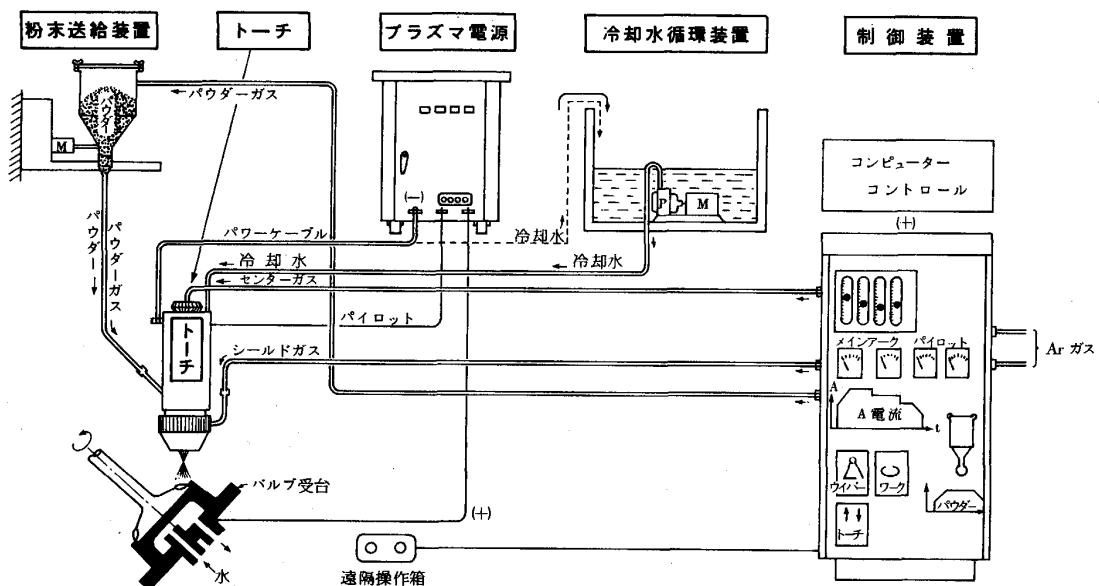
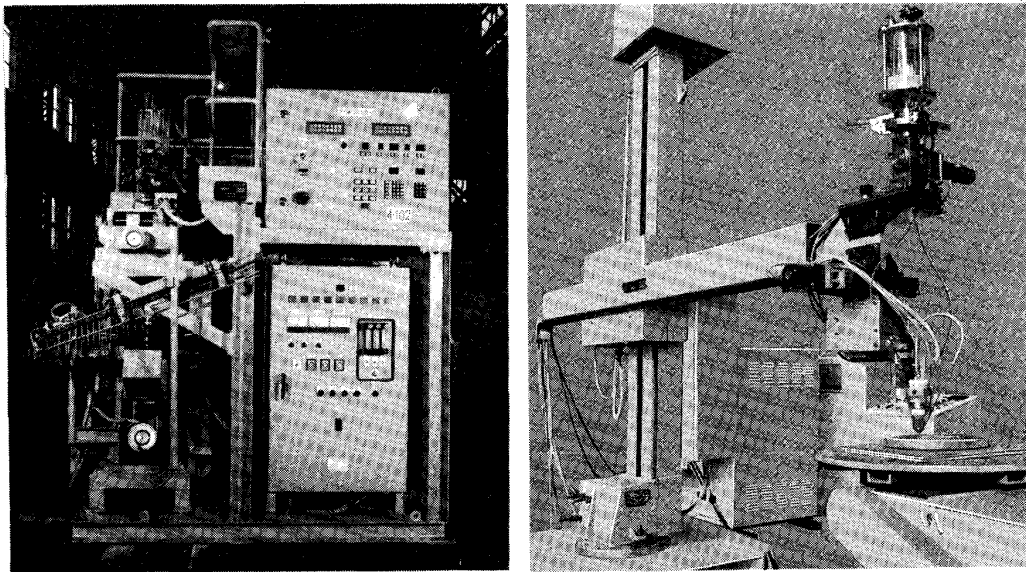


図 5 粉末プラズマ溶接用装置の構成



(a)

(b)

(a) 自動車用バルブ専用機 (b) 汎用機

写真 2 粉末プラズマ肉盛装置の代表的 2 例<sup>7)~9)</sup>

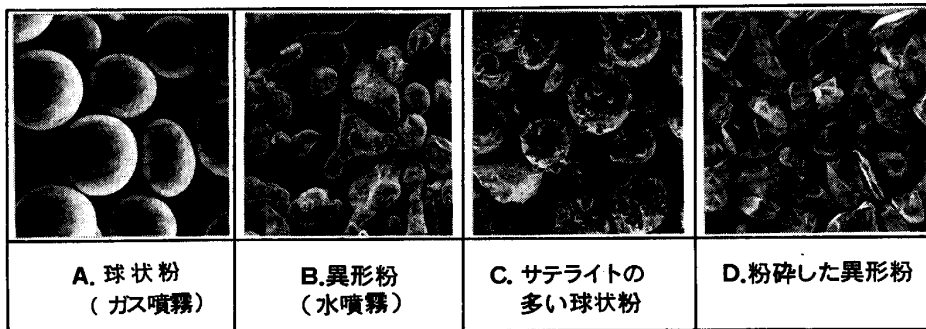


写真 3 PPW 用粉末の形状 (倍率: ×48)

無酸化雰囲気として減圧または不活性ガス減圧雰囲気  
で溶接できるように、10~200 Torr 程度の真空系と雰  
囲気チャンバーが付けられる。

以上のような種類の装置が作られるようになってい  
るが大別すると(1)のような専用機と(2)~(5)のよ  
うな汎用機プラス装置の2大分類に分けることができ  
る。

各構成部分のうち溶接電源は、さらに、メインア  
ーク用電源とパイロットアーク用電源とからなる。メ  
イン用は安定したプラズマを得るため直流定電流型  
を用い、最近ではインバーター型が用いられる傾向  
にある。これまでの通常の TIG 用の電源ではアーク  
が発生しなかつたり、不安定であつたりしがちであ  
る(無負荷電圧が低い)。

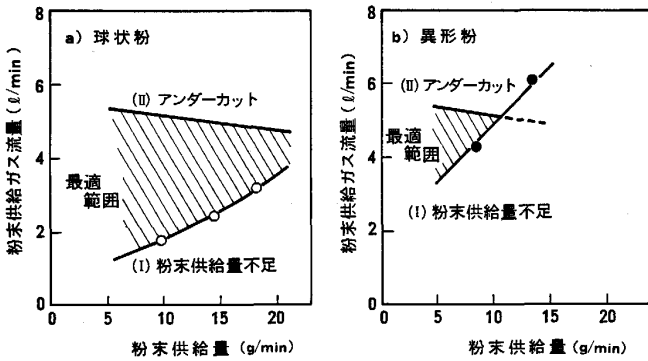
冷却装置は、プラズマ装置に必須であり、プラズ  
マを強力に冷却するため大容量の装置が必要である。  
一般には、冷凍機能のある 4000~8000 kcal/h の冷  
却装置を使う。粉末送給装置はトーチについて重要  
とされ、各種の工夫が凝らされている。例えば、粉  
末切出しに微小溝

の付いたギヤを用い高速回転させ脈動を防ぐなど  
のことが行われている。

## 5. 肉盛溶接用粉末について

### 5.1 粉末の形状

本溶接あるいは溶射に使われる粉末の外形を写  
真 3<sup>13)</sup> に示す。この4種類のうちでは A のよ  
うな球形なほど流動度が良好(流れ落ちやすい、  
または、送給性が良い)で、溶接部への送給に  
適している。送給性の良い粉末は、搬送ガス量  
を少なくとも良好な溶接ができる(図 6a)にお  
いて粉末送給量 10~20 g/min の範囲で 2~4 l/min  
以上)。これに対してギザギザの多い送給性の  
悪い異形粉末は、良い肉盛外観を得るのに、同  
じ粉末送給量では球状粉の場合のほぼ 2 倍の  
搬送ガスが必要となる(図 6b)。一方、搬送ガ  
スが増すと肉盛外観にアンダーカットがみら  
れる。つまり、搬送ガスには上限値が存在す  
る。したがって、良好に肉盛溶接できる条件  
範囲は球状粉の



被溶接材：36φ外径のバルブ SUH 36  
使用粉末：ステライト系合金 No.12

図 6 溶接最適範囲の広さに及ぼす粉末形状の影響

方が広くとることができる。

### 5.2 粉末の組成

肉盛用に多用される合金粉の組成を表 2 に示す。なかでも、とくによく使われるのが Co 基合金で、ステライト No. 6, No. 12, No. 32, および No. 21 である。ステライト No. 6 および 32 系合金粉末が自動車バルブ用に、また、ステライト No. 21 系合金粉末が熱間押しポンチなど工具類用に多用されている。

Ni 基合金はプラスチック成形機用スクリュウほかの耐食耐摩耗用途に使われている。

Fe 基合金は、現在、まだ、使用量が少ないが、近い将来、自動車バルブなどの耐熱耐摩耗用として多用されるのではないかと推察されている。

プラズマ肉盛用に是非具備すべき粉末の特性は、溶けやすいことであり、このためには粒径をすこし小さめとし、成分的に、微量の添加元素を加えるなど溶けやすくする試みも行われている。

### 5.3 粉末粒度

粉末は粒径が大きすぎると肉盛に当たって溶けにくくなるので実用に適さない。例えば、大きめの粉末では、未熔融のまま、溶着金属内に留まるようになることが起こる。そして、溶接不良の原因になる。試験された一つの例を挙げると、80 メッシュ以下の細粉では溶接電流が 100 A で十分溶込み可能であるのに対し、60 メッシュ以下の粉末では十分な粉末の溶解に 120 A を必要とする。しかも、この 120 A で溶接したときには、被加工材であるバルブ傘部母材金属を溶かしすぎる現象が生じ、溶落ちが生じてしまうようなことが起こっている。

一方では、350 メッシュ以下の細粉が混じることも好ましくない。粉末粒径の大小によつて、送給時間差を生じやすく、ビード形状不良などの欠陥を生じがちになる。粒度には、前にも述べたように、実用に当たつて適正な範囲があり、例えば、自動車バルブに適用した場合、#80~#350 が適当となつている。

### 5.4 硬質粒子

硬質粒子分散型の肉盛を行うために、合金粉末のほかには NbC や WC などのセラミックス粉末を用いることが試みられている。代表的セラミックス(炭化物)粉末の比重、硬さなどの物理的特性を表 3 に示す。肉盛用合金の比重に比較的近い比重の NbC は、金属マトリックス中で浮上や沈下が起こりにくいので比較的均一に分散する。これに対して、比重の大きな炭化物(WC等)は沈下し、比重の小さな炭化物(TiC等)は浮上して分散しにくく、偏在しがちとなつている。

## 6. 各種適用例

### 6.1 自動車用バルブへの適用<sup>2)3)8)9)</sup> (写真 4)

バルブの傘部の開先面がトーチの真下になるように、

表 2 粉末プラズマ肉盛に多用される粉末

区分	種類	化 学 成 分 (wt %)									肉盛硬さ (HRC)
		C	Si	Ni	Cr	Mo	W	Co	B	Fe	
Co 基	ステライト No. 1	2.5	1.1	-/1.5	30.0	-/0.6	12.0	Bal	-	-/1.5	53
	ステライト No. 6	1.2	1.1	-/1.5	30.0	-/0.6	4.0	Bal	-	-/1.5	43
	ステライト No. 12	1.5	1.1	-/1.5	30.0	-/0.6	8.0	Bal	-	-/1.5	47
	ステライト No. 20	2.5	1.1	-/1.5	32.5	-/0.6	17.0	Bal	-	-/1.5	55
	ステライト No. 21	0.25	1.1	3.0	26.0	5.5	-	Bal	-	-/1.5	30
	ステライト No. 32	1.8	1.1	22.0	26.0	-/0.6	12.0	Bal	-	-/1.5	42
Ni 基	コルモノイ No. 4	0.3	3.5	Bal	10.0	-/0.6	-	-	2.0	3.0	40
	コルモノイ No. 5	0.5	4.0	Bal	12.0	-/0.6	-	-	2.5	3.0	50
	コルモノイ No. 6	0.7	4.5	Bal	15.0	-/0.6	-	-	3.0	3.0	60
Fe 基	DFCrA <sup>1)</sup> 相当	2.8	-/1.0	-/1.5	30.0	-/0.6	-	-	-	Bal	54
	DF 4 A <sup>1)</sup> 相当	0.13	-/1.0	-/1.5	13.0	-/0.6	-	-	-	Bal	40

1) JIS Z3251 - 1981

表 3 硬質粒子として用いられる粉末の物理特性

性質 炭化物	分子量	結合炭素 (%)	結晶型	格子定数 (Å)	融点 (°C)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	点伝導率 (cal/cm <sup>2</sup> sec <sup>2</sup> °C)	電気抵抗 (μΩ·cm)	線膨張率 (25~800°C) (cm/cm°C)	弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗圧力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗折力 (kg/mm <sup>2</sup> )	硬度 マイクロ ビッカース (kg/mm <sup>2</sup> )
B <sub>4</sub> C	76.9	15.61	正方	a= 5.19 b= 5.60 c= 12.12	2550	2.51	0.07 ~0.2	0.30 ~0.80	×10 <sup>-6</sup> 4.5	-	196	21~28	5000
SiC	40.1	26.97	正方 六方	4.359	2100 (分解性)	3.12	0.10	107 ~200	4.7	-	96	5~15	4200
TiC	59.9	20.05	NaCl	4.32	3250	4.9	0.041	68	7.4	32100	291	28~40	3200
ZrC	103.2	11.64	NaCl	4.685	3530	6.7	0.049	63	6.7	14000	169	-	2800
HfC	190.5	6.30	NaCl	4.64	3887	12.7	-	109	-	-	-	-	2600
VC	63.0	19.07	NaCl	4.16	3830	5.8	-	1.50	-	27300	63	-	2800
NbC	104.9	11.46	NaCl	4.46	3800	7.86	0.034	74	-	34600	-	-	2400
TaC	192.9	6.22	NaCl	4.455	3880	14.5	0.053	30	8.2	28900	-	-	1800
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	180.1	13.34	斜方	a= 2.82 b= 5.53 c= 11.47	1890	6.7	-	-	-	-	-	-	1300
Mo <sub>2</sub> C	203.9	5.89	六方 稠密	a= 3.00 c= 4.72	2692	9.2	-	97	-	22600	-	-	1800
W <sub>2</sub> C	380.0	3.16	六方 稠密	a= 2.986 c= 4.712	2850	17.2	-	80	6.0	42700	-	-	3000
WC	195.9	6.13	六方 稠密	a= 2.90 c= 2.83	2700 (分解性)	15.8	-	53	6.2	72000	291	49~60	2400
参考 Fe <sub>2</sub> C	179.4	6.69	斜方	a= 4.5144 b= 5.0787 c= 6.7297	1650	7.67	-	-	-	21550	-	-	1150

バルブを約 30° 傾斜させて配置し、それに対してステライト No. 12 系粉末にて、幅 3 mm の開先内を肉盛する事例を示す。この場合、一周の溶接時間は 10~12 s となっている。従来のガス溶接では予熱と後熱が必要であったが、この省略が可能となり、数倍の高速溶接が行われるようになってきている。プラズマ溶接では母材への溶込みが少なく、そのため、母材の鉄の侵入拡散が少ないので、図 7 のように融合線近くの位置からステライト系合金本来の硬さ（性質）が得られ、利用できる高硬度部分の幅が広がっている。また、従来のガス加熱による方法では C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ガス燃焼時に生ずる水分のためにマルテンサイト系材料の母材に対しては、割れが生じやすく適用困難であった。これに対して、プラズマ法では、割れが全く発生せず、容易に適用でき、適用母材の範囲を拡げることが可能となっている。

肉盛溶接部の組織を従来のガス溶接と比較して写真 5 に示す。通称 21-4N と呼ばれる SUH 36 耐熱鋼にプラズマアークによつて肉盛したステライト No. 12 系合金の組織は、ガス溶接のそれに比べて細かく、樹枝状晶のアーム間隔が狭くなっている。

また、溶接部表面が平滑であり、研削代を少なくできたので、高価な肉盛材料を 16~45% 節約できることも明らかになっている。

生産性に関しては、大幅なメリットを生んでいる。従来は肉盛溶接機 1 台に対し作業員 1 人が必要であったがこの方法によれば、8 台までも 1 人で管理できるようになった。このため、自動車バルブの肉盛に、多くの溶接

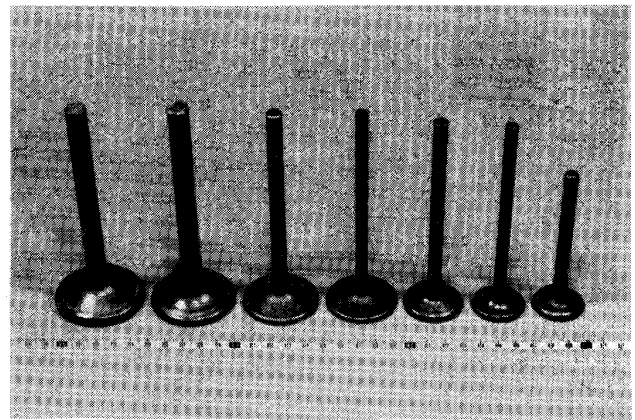


写真 4 自動車用エンジンバルブへの適用例

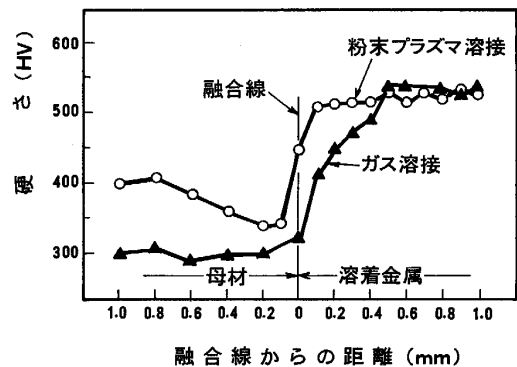


図 7 粉末プラズマ溶接法によつて肉盛溶接した自動車用エンジンバルブ溶接部の硬さ

機が稼動するようになり普及が進んできている。

6・2 熱間鍛造金型の肉盛<sup>7)10)</sup> (写真6)

鍛造用打抜きポンチやダイスに対して粉末プラズマ肉盛が試みられている。溶接フィラーには、ステライト No. 21 系合金が使われることが多い。溶接条件として、128 A-1.5 kg/h-予熱なし-肉盛厚さ 6 mm (手による被覆アーク溶接の2倍の速度)とした事例がある。粉末プラズマ溶接の場合は、母材からの希釈が少なく、また、組織が写真7のように微細で、耐ヒートチェック性(サーマルショックによる割れ発生傾向)が被覆アーク

溶接に比べて優れた結果が認められている。2500 t アプセッターにおいて実用試験も行われたが、例えば、φ80 mm のポンチで、その寿命が従来の約3倍に延長している。

また、粉末プラズマ溶接では、溶接時間が従来の手溶接とくらべ半分となった。肉盛部が平滑なことから加工上のメリットも生じ、他にも、予熱の省略、型の取替え工数削減などのメリットが生じている。熱間高速自動鍛造機(AMP-30, 50, 70)の型に同様の肉盛を応用した結果も、溶接母材としてSKD61 およびSKD7, 肉盛材としてステライト No. 1 および No. 6 系合金を実用することにより、寿命が2~3倍となる良結果が得られている。

6・3 ロールの肉盛<sup>11)</sup> (写真8)

高硬度な材料の圧延ロールへの自動肉盛が試みられている。ロール材質はSUJ-4 鋼、肉盛材は組成 2.1 C-4 Cr-13 W-12 Co-5 V の鋼の粉末で、いずれも、従来法では難溶接と考えられている材料である。粉末プラズマ法により割れ発生なしに、HV 750~850 の高硬度肉盛が得られている。さらに、ビードマークがどこまで消去できるかなどの検討もなされている。今後の実用化の拡

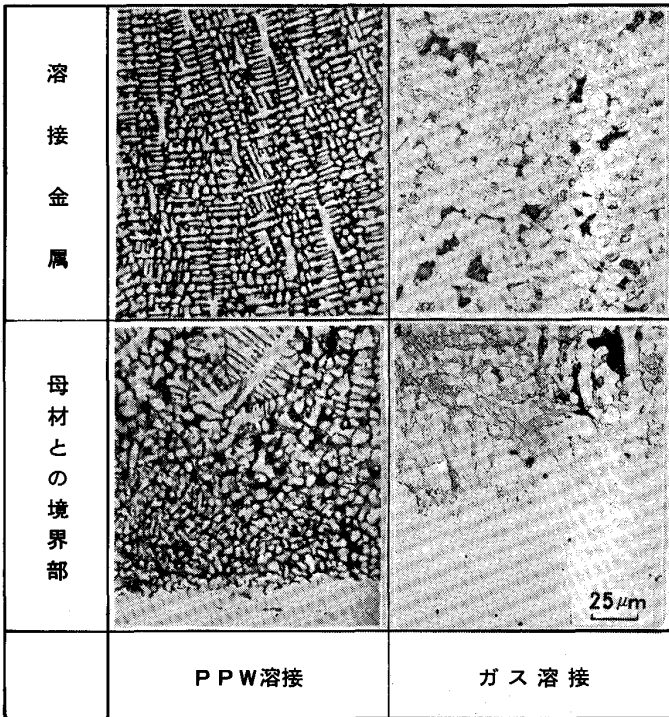


写真5 粉末プラズマ溶接及びガス溶接したバルブの溶接部の組織

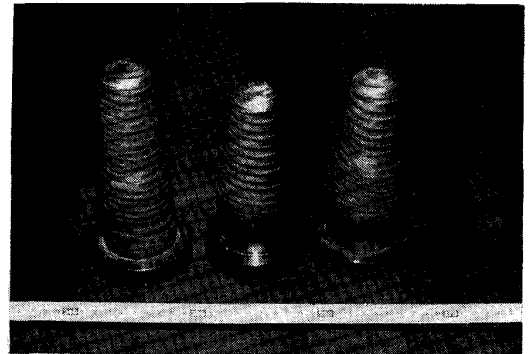


写真6 熱間鍛造用金型への適用例

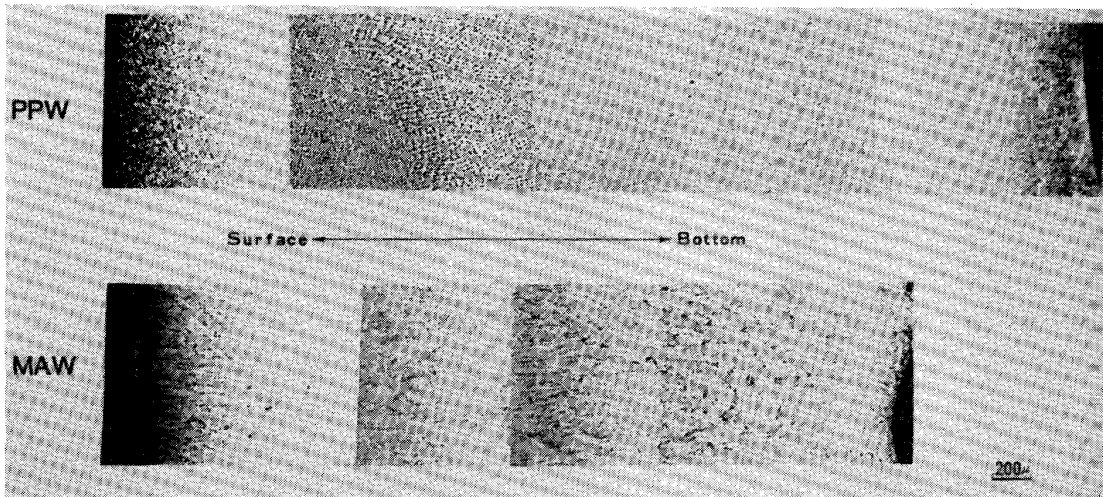


写真7 粉末プラズマ溶接したポンチの溶接部組織とガス溶接部の比較

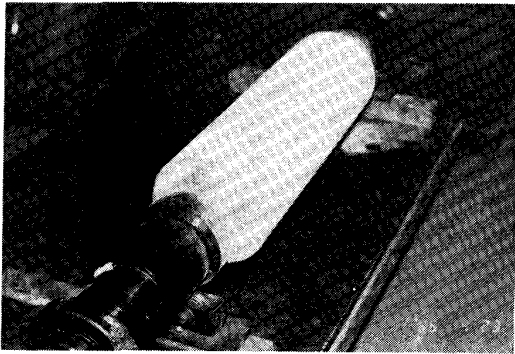


写真 8 ロールの肉盛への適用例

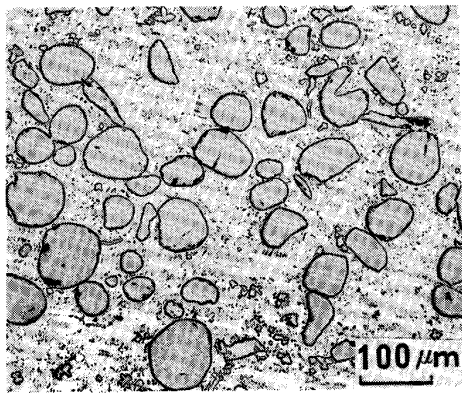


写真 9 硬質粒子 (NbC) を分散させたプラズマ肉盛部の組織

大が期待されている。

加熱炉内の搬送ロールに複合肉盛が試みられた例がある。この場合は、被搬送材とロールとが焼付くことに原因するロール表面の疵が製品に転写されて製品不良を生じることを防止することがねらいとされている。ロールの表面をプラズマアークで溶融し、溶融プールの中に未溶融の NbC 粒を分散投入させた。NbC (約 100 μm) をアロイ中に浮遊させた写真 9 の状態の硬質粒子分散型肉盛層が得られている。NbC を浮遊させた複合肉盛は焼付防止に大きな効果があることが認められている<sup>12)14)15)</sup>。

#### 6・4 プラスチック成形機への適用

プラスチック射出成形機用押しスクリューに本肉盛溶接の適用が試みられている。母材への溶込みが少な

いこと、溶接能率が高いこと、歪み量が少ないことが評価され、適用が拡大されつつある。

## 7. おわりに

粉末を用いたプラズマ肉盛溶接法は、エネルギー密度の高い自動化指向の肉盛溶接法である。自動車用バルブを初めとする自動車部品、鍛造金型を初めとする機械部品など幅広い分野での適用の可能性を秘めている。その他、耐食耐摩耗を目的とした多くの応用が考えられる。国のプロジェクトとして新しく石油掘削部材への適用も検討されるようになってきている。

長い間手作業でなされてきた肉盛に対して、自動溶接法として対応できること、そして、従来不可能とされていた多種の材料でも対応できること、高品質な結果が得られることおよび省人化指向で対応できることなどの極めて著しい特長がある。このようなことから粉末プラズマ肉盛溶接法は今後さらに急速に普及が進むものと予想される。本報がその実用化の発展に多少なりとも貢献できれば幸いである。

## 文 献

- 1) J. MILLIGAN and S. NARASIMHAN: Technical Paper Series No. 800317 (1980) [SAE]
- 2) Y. TAKEUCHI and M. NAGATA: Technical Paper Series No. 850518 (1985) [SAE]
- 3) 竹内宥公, 永田 雅: 電気製鋼, 55 (1984), p. 4
- 4) 林 文雄: 新技術教育シリーズ 第3回テキスト (日本溶接技術センター編) (1986), p. 7
- 5) 溶射便覧 (日本溶射協会編) (1964), p. 318~322, p. 353
- 6) 小野英彦: 表面処理技術セミナーテキスト (1987年6月), p. 21
- 7) 加藤喜久, 竹内宥公: 特殊鋼, 35 (1986)12, p. 58
- 8) 竹内宥公, 加藤喜久, 松野雅樹: 溶接技術, 33 (1985) 9, p. 19
- 9) 竹内宥公, 永田 雅: 鉄と鋼, 70 (1984), S407
- 10) 竹内宥公, 加藤喜久, 菊川武久: 鉄と鋼, 71 (1985), S1549
- 11) 福井彰一, 竹内宥公, 加藤喜久: 鉄と鋼, 72 (1986), S1256
- 12) 竹内宥公, 永田 雅, 加藤喜久: 溶接法研究委資料 SW-1741-87 (1987)
- 13) 竹内宥公: 新技術教育シリーズ 第3回テキスト (日本溶接技術センター編) (1986), p. 11
- 14) 竹内宥公, 加藤喜久: 第23回日本熱処理技術協会学術講演会予稿集 (1986年11月), p. 49
- 15) 加藤哲男, 竹内宥公, 加藤喜久: 電気製鋼, 59 (1988), p. 98