

長寿命（半割れ型）給電チップの開発

査名 宗春\*、 村上 隆昭\*\*

\* (株) 最新レーザ技術研究センター

\*\* (有) 大幸エンジニアリング

1. はじめに

1907年に被覆アーク溶接棒が開発され、ガスシールドアーク溶接法が1920年代に開発され、1976年にアーク溶接ロボットが開発され、ものづくりに欠くことができないアーク溶接。この中で、ガスシールドアーク溶接やサブマージアーク溶接には溶接ワイヤに溶接電流を給電するための図1に示すようなコンタクトチップ（ここでは給電チップとよぶ）が必要である。にもかかわらず、ここ40年間にこれに関する研究論文は10数件と少ない<sup>1)~12)</sup>。著者らは2009年より、経済産業省中小企業庁平成21年度「ものづくり中小企業製品開発等支援補助金」に採択され、長寿命の給電チップを開発してきた。今年2月16日に、この長寿命チップ技術が名古屋市工業技術グランプリに輝き、自動車やオートバイ部品のアーク溶接ロボットラインで採択されるに至ったので、本稿で紹介する。



図1 ガスシールドアーク溶接機に用いられる給電チップ

2. 開発の背景

自動車産業では図2に示すように<sup>13)</sup>、実ラインでのアーク溶接の主流はガスシールドのミグ(MIG)/マグ(MAG)溶接が主流となっており、ロボット溶接が多く採用されている。ここ10数年間でアーク溶接電源の大きな進歩により、インバータ電源、デジタル電源と進歩し、スパッタの発生が著しく低減した。すなわち、フローニクス社のCMT溶接法<sup>14)</sup>、ダイ

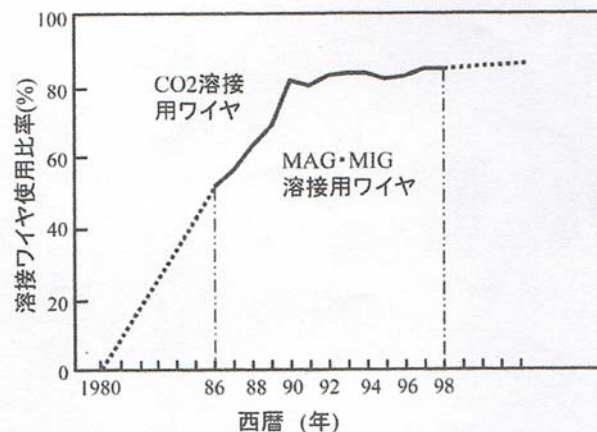


図2 自動車シャーシのガスシールドアーク溶接におけるMIG/MAG溶接ワイヤの使用比率<sup>13)</sup>

ヘンのシンクロフィードGMA溶接法<sup>15)</sup>、パナソニックのMTS-CO2溶接法およびSP-MAG溶接法、JFEスチール社開発のJ-STAR溶接法などを採用することで、短絡時の発生スパッタを低減している。ガスシールドアーク溶接では用いるシールドの成分により図3に示すように毎分0.2g以下にすることもできる。溶接電源、溶接ワイヤおよびシールドガスなどの観点からスパッタの低減を図られてきた。

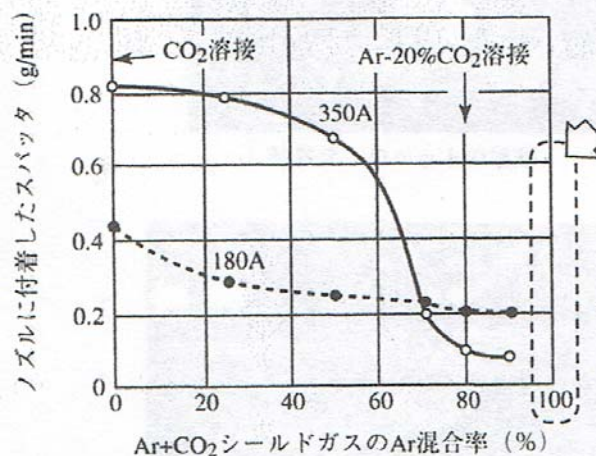


図3 シールドガスのアルゴン比率とスパッタ量の関係<sup>16)</sup>

しかし、給電チップの開発についてはこの40年間に、革新的な大きな進歩はなかった。チップ形状も図4-aに示すような銅

合金製の一体型のもので、構造の変化が少なく、一部コーティングを改良したものや、強制加圧給電型ノズルに用いるコレットチップがある程度である。ロボット溶接ではその寿命が2時間～8時間程度のものである。長時間溶接すると、図4-bに示すように、円形の穴が摩耗により楕円形に変形して、頻繁に取り換えをする必要がある。このようにチップの摩耗が進むと溶接ワイヤの狙い位置が大きくズレ、溶接欠陥を生むことになる。

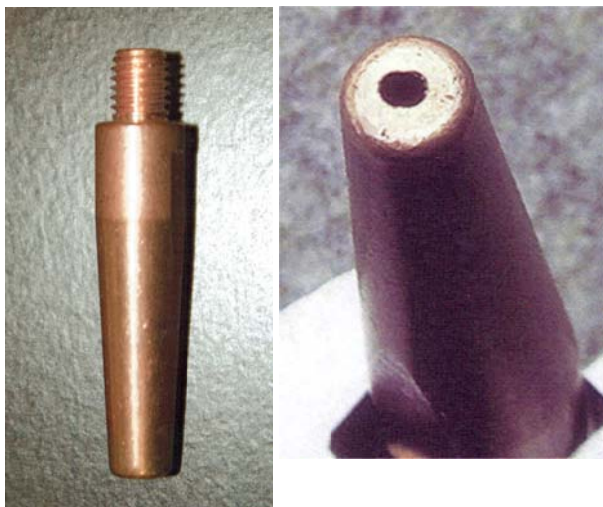
1. 2mm径のワイヤに対して、穴の径が、約0.2mmとか0.3mmの拡大があった場合に、チップの交換を余儀なくされる。

著者らは、まず、給電チップの摩耗現象を考察した。クロム銅が高温の鋼ワイヤと接触したときの引っ掻き摩耗現象である。その時の摩擦力、銅の温度、引っ掻き速度、銅の硬さなどが影響するが、この中でも銅の温度に注目した。すなわち、図5に示すように従来の一体型チップではパックワイヤなどのようにワイヤ癖のひねりがあると、チップ内部で給電し、その給電点がひねりとともに変動する。図5の左図のようにチップ中央で給電が起こったとすると、この点とワイヤ先端との間に次式に示すようなジュール発熱がワイヤ内部に発生し、鋼ワイヤの温度が約800℃以上にもなる。

$$\text{ジュール発熱} = a \times I^2 \times R$$

ここで aは係数、Iは溶接電流、Rはワイヤの電気抵抗

その結果、高温の鋼ワイヤが給電チップに接触するため、チップの穴内面の温度が500℃以上の高温になり、銅製のチップが軟化して、引っ掻き摩耗に対して弱くなる。これが従来チップの欠点である。



(a) チップの外観 (b) チップ先端の穴の変更状況

図4 従来の一体型給電チップ

## ・ワイヤ癖で変化する

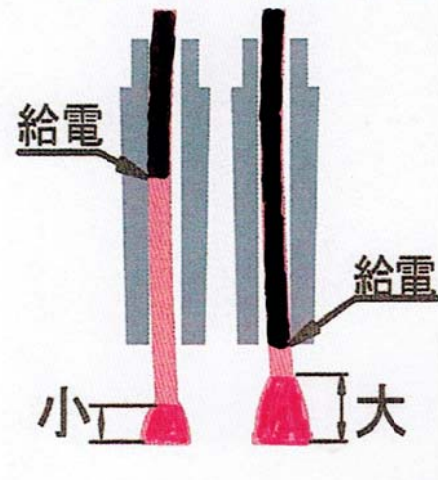


図5 一体型給電チップの給電点の変動

また、給電点の変動は図6に示す真のワイヤ突出し長さを変動させる。すなわち、図6の右図の場合には突出し長さが短くなり、溶接電流が増大し、左図の場合には突出し長さが長くなり、溶接電流が低下する。アークが長くなったり、短くなったりして、アークの安定性が損なわれる。

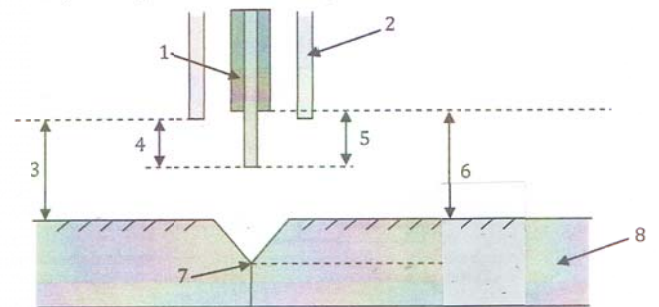


図6 真のワイヤ突出し長さ

- 1 : コンタクトチップ、2 : ノズル、3 : ノズル高さ  
5 : 真のワイヤ突出し長さ、6 : 通称のワイヤ突出し長さ

## 2. 3. 半割れ型給電チップ技術の概要

給電チップに求められる機能とはなにか考えてみると、次の3点があげられる：

- 1) 溶接ワイヤに溶接電流を給電する機能
- 2) 溶接ワイヤを溶接ヶ所に正確に導く機能
- 3) ノズルと組みになりシールドガスを送給する機能

これらの機能を考慮して、溶接法、溶接電流、溶接力所、ワークの材質などを考慮して、各種の給電チップが製造されている。

### 3. 1 半割れ型チップの給電機構と構造

従来チップの問題点を解決する方法として、図7に示すようなバネによる強制加圧給電方式の半割れ型給電チ

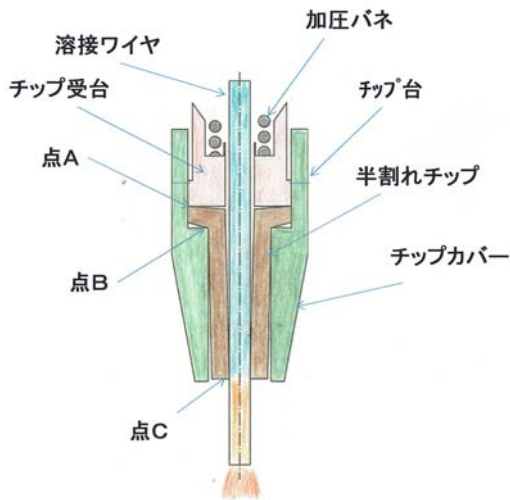


図7 半割れ型給電チップの構造

ップを開発した。チップ台の中にあるチップ受台をバネで押し、点Aで半割れチップの根本を下方に押し下げることで、結果として、点Bを支点として回転モーメントが働いて、チップ先端の点Cでワイヤ中心方向に強制的にチップが押しやられ、ワイヤへの給電がスムーズに起こる。チップの溝内面が両チップで0.4mmまですり減っても給電が可能である。具体的には図8に示すように、現在利用されている溶接トーチに装着できるようにM6のネジを持つチップユニット (=チップ台+チップカバ



図8 半割れチップとそれを装着したチップユニットの外観 (上) および従来チップ (下) の外観 (一+半割れチップ) として、製品化されている。ここで、チップ台はほぼ1年間以上利用できるもので、

チップカバーは1月に1、2本取り換えるものである。

### 3. 2 半割れ型給電チップの特性

#### (1) チップ給電位置とワイヤのジュール加熱

半割れ型給電チップの給電位置はチップ先端のみであり、その点からジュール発熱が生じる。チップ内部では溶接ワイヤの加熱は少ない。図9はこの状況を実際の溶接ワイヤの銅メッキの色の変化で示す。給電点はチップ先端であり、この点より右のチップ内部では銅メッキは変色していない。すなわち、500℃以上の高温にさらされていない。これに対して、チップ先端より左では給電しているためジュール発熱が起こり、800℃以上に加熱され、銅メッキが黒色に変色している。

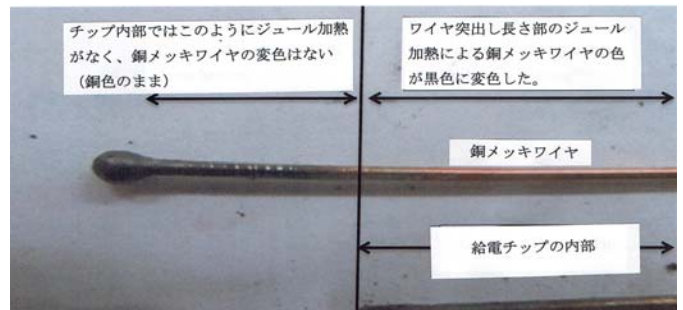


図9 溶接後の溶接ワイヤの色の变化領域  
チップ先端の温度を500℃以下に保持できている。

#### (2) チップ寿命

では、実際にチップの摩耗量は低減できるのか、実証実験で確認を行った。

##### 1) 実験方法

ロボットおよびマグガス (80Ar + 20CO<sub>2</sub>) を用いてMAG溶接を行った。半割れ型の給電チップを内蔵した給電チップユニットをトーチに取付けて、SS400鋼板 (寸法: 板厚9mm、200mm x 600mm) 上に、溶接ワイヤMG-50 (1.2mm径) を用いてビードオン溶接した。1.8m長さの溶接ビードを3分間溶接した後、約2分休み、残り1.8m長さを3分間で溶接した。溶接条件は溶接電流を290A~310A、アーク電圧を約32.8V、溶接速度600mm/minとした。36分毎にスパッタを除去した。その都度、ノズル内面にスパッタ防止剤を塗布した。いずれもアークタイム120分溶接した (溶接時間: 4時間) 後は、給電チップユニットを取り外し、チップの溝の深さをレーザ顕微鏡で計測した。図10はその溶接

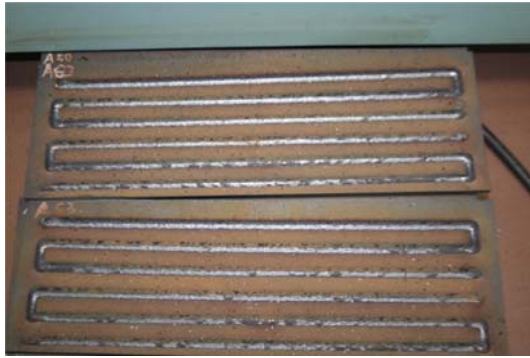


図10 溶接ビード外観

ビード外観を示す。スパッタの付着は少なかった。

## 2) 実験結果

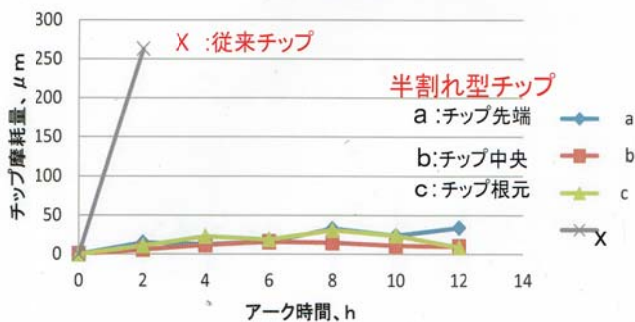


図11 半割れチップを用いたMAG溶接におけるチップ摩耗量の計測結果

給電チップの溝内面の摩耗量をレーザ顕微鏡で計測した結果を図11に示す。

この図より、従来の一体型チップの摩耗量（250A、28V、100cm/minの条件で、3%Cr銅チップを使用）が2時間で $263\mu\text{m}$ であったのに対して、半割れチップの摩耗量は12時間で $37\mu\text{m}$ とわずかであった。従来のチップと比較すると約39分の1であった。

## (3) アーク安定性

給電点をチップ先端に固定できれば、ワイヤ突出し長さの変動が少なくなり、溶接電流およびアーク電圧が安

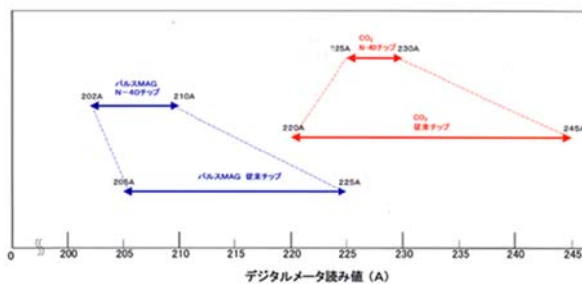


図12 半割れチップ及び従来チップを用いた時の溶接電流の変動範囲

定化する。そこで、半割れ型チップを用いた場合と従来チップを用いた場合の溶接電流の変動を計測し、図12に示す。このように、溶接電流の変動範囲が狭くなり、アークが安定していることがわかる。

## (4) スパッタの付着

チップ摩耗量の確認実験をアークタイムで12時間実施したときのノズルへのスパッタ付着量を計測した。その結果、CO<sub>2</sub>アーク溶接で $0.137\text{g}/\text{min}$ 、MAG溶接では $0.0187\text{g}/\text{min}$ と微量であった。アークが安定していることからスパッタも少ないと言える。

## (5) チップの掃除による再利用性

半割れ型給電チップは寿命がながいので、40時間あるいは50時間ごとにチップを清掃すると、再度利用できるという特長がある。清掃の時間的目安を図13に示す。用いる溶接電流により大きく異なる。200A位では60時間間隔で清掃をすればよい。チップ摩耗量が $0.4\text{mm}$ から $0.5\text{mm}$ まで幾度も利用できる。

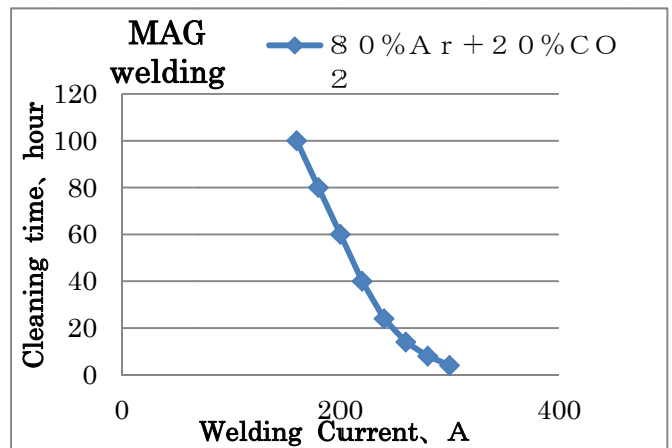


図13 チップ清掃までに時間的間隔の目安  
このような再利用できる給電チップは世界初である。

## (6) チップカバーの改良

スパッタの発生が多いCO<sub>2</sub>アーク溶接や亜鉛メッキ鋼板のアーク溶接などでは小粒のスパッタがチップ内部に入ってくると強制加圧給電に支障をきたす場合がある。そこで、この問題点を回避するため、図14に示すように、溶接ワイヤ径より $0.2\text{mm}$ 大きい径の穴を前面にもつチップカバーを開発した。なお、チップ先端とカバー先端とは $2\text{mm}$ 差があるが、従来のワイヤ突出し長さを変動したり、ロボットのプログラミングを修正することなくセットできる。



図14 改良したチップカバーの構造(上)と  
外観(下)

### (7) コスト比較

表1に樹来チップを用いた場合と半割れチップをもち田場合のコストを比較して示す。

表1 チップ使用コストの比較例(年間)

従来チップを1年間1台のロボットに使用した場合			
10本/週	x 56週/年	x 65円/本	= 36,400円
半割れ型給電チップを同様に使用した場合			
(チップ)			
2本/週	x 56週/年	x 115円/本	= 12,880円
(チップカバー)			
1本/月	x 12ヶ月/年	x 240円/本	= 2,880円
(チップ台)			
1本/年	x 1年/年	x 3,240円/本	= 3,240円
合 計			19,000円
ロボット1台当たりのメリット			17,400円

1年間 1台の溶接ロボットあたり、17,400円の差がでる。さらに、ロボットの年間停止時間の約17%を占めるチップ交換時間も大幅に短縮できるというメリットもある。

### 3.3 半割れチップの使用方法和注意点

このようなメリットを出すには、半割れ型給電チップの使用方法をよく理解して用いる必要がある。

用いる溶接条件、ワイヤ突出し長さ、シールドガス、スパッタ付着量などを十分確認して用いることが重要である。

さらに、チップの管理方法も重要で、半割れチップを利用するときは、現場のロボットオペレータにチップを渡す前に、図15に示すような使用する溶接ワイヤ径と同じ径のワイヤ治具(長さ約100~120mm)を作成

し、常にチップ管理者が使用前にチップにこの治具を通して、スムーズに通る、先端部のみ加圧の影響で少し抵抗を感じる程度であることを確認したものを現場のロボットオペレータに渡すことがじゅうようである。

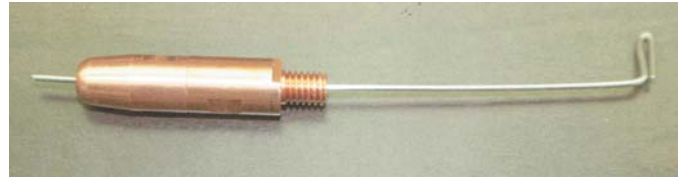


図15 チップの使用前チェックに利用するワイヤ治具

清掃して、再利用する場合も、このようにチップ管理者が必ずチェックしてから現場に渡すことにより、現場でのトラブルを回避できる。

スパッタの付着に対しても十分注意して用いる必要がある。できれば、ノズルやチップカバーにスパッタ防止剤をときどき塗布すると、スパッタが付着しにくくなる。なお、国内には溶接トーチの種類としては主として、図16に示すように、ダイヘン型とパナソニック型があり、チップユニットもこれらに対応したものが生産されている。フローニアス型は市販していない。

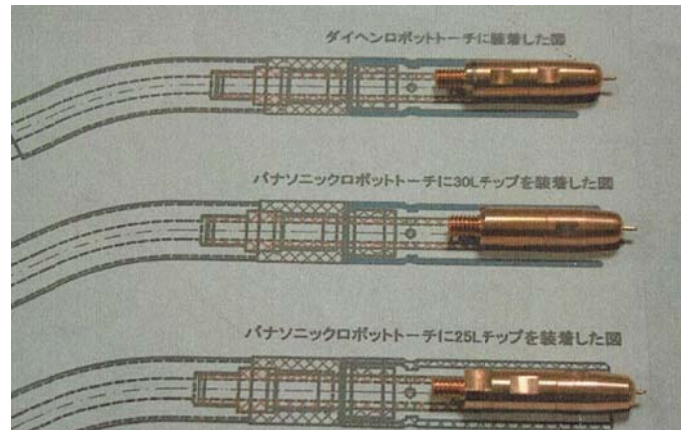


図16 国内溶接トーチに適合するチップユニット

### 4. 自動車およびオートバイ産業での適用例

この節では、半割れチップを十分管理することにより、ロボット溶接の量産ラインで利用されている例を2件紹介する。

#### 4.1 自動車部品の量産品への適用例

自動車の運転席のシート部品をロボットでMAG溶接するラインに適用した例を示す。従来は一体型チップを200AAの溶接電流で溶接し、1直(8時間)でチップ交換を余儀なくされていた。1日2直であるので、2本のチップが必要であり、年間では560本必要であった。半

割れ型給電チップをロボット溶接ラインの10台のロボットにまず適用して、その問題点や注意点を6ヶ月以上かけて検討した。特に、寿命のバラツキと製品の形状のバラツキに注目してテストを実施した。



図17 使用前のチップクリアランスの測定

使用前に両チップ間のクリアランスについて図17に示すようにワイヤを刺した状態で測定し、基準の0.2mm以上のものを採用している。3直、4直、5直終了後、このクリアランスを測定し、基準値以下にならないように管理した。また、ワイヤを抜いた状態で両溝の深さを計測し、1.4mmを超えないようにした。

図18に5直までの溝内径の計測結果を示す。その結果、5直(40時間)使用しても基準の1.4mmを超えず、最大摩耗量は0.41mmであった。

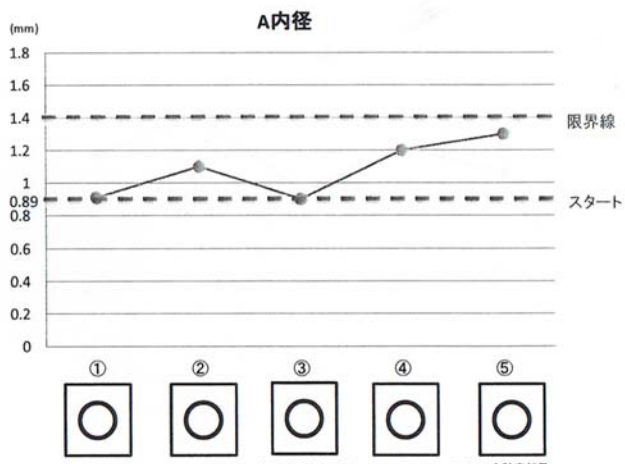


図18 1直(8時間)ごとに計測した溝の内径

図19に5直使用したチップを清掃し、その形状等を計測した結果を示す。溝の内径(A)の計測値は使用前が0.89mmで、使用後は0.91mmであった。すなわち、チップの摩耗量は0.06mmとわずかであった。再利用できる摩耗量である。今までに10直(80時間)使用できるものもあった。現在、このチップを全社的に採用する方針が進められている。



図19 5直使用後の半割れチップの評価値

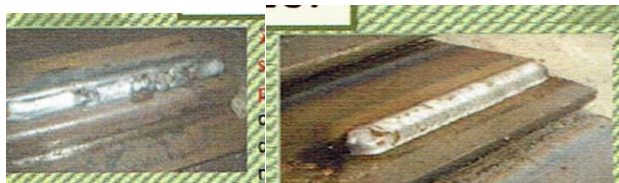
#### 4.2 オートバイ部品への適用例

現在、フィリピンでオートバイ生産している日本企業の工場で、半割れ型給電チップをロボットMAG溶接に用いている例を紹介する。

新チップの導入に当たり、生産ラインで実際に使って、次の3点を従来型のチップと比較・評価した。

- 1) 溶接性テスト
- 2) スパッタ量の評価
- 3) チップの摩耗量の評価

まず、溶接割れ、ブローホールなどの欠陥に対しては、図20に示すように従来型チップを使用した場合はブローホールが発生し、ハンピングビードが生じているが、半割れ型チップを使用した場合は欠陥もなく、なめらかな溶接ビードが得られた。この原因は、半割れ型チップの外径が10mmと大きく、ノズルとの隙間が狭くなり、同じシールドガス流量でもシールドガスの流速が速くなり、シールド効果が高まったためと分析している。



(a) 従来型チップ使用 (b) 半割れ型チップ使用

#### 図20 溶接ビード外観の比較

また、スパッタの付着量は従来型チップの場合に、2.7g/1体であったが、半割れ型チップの場合は1.5g/1体と少なかった。チップの摩耗量は非常に少なく、従来型チップは1日1本を要したが、半割れ型チップは20日間で1本の摩耗量であった。よって、図21に示すように、年間では従来型チップは264本使用したが、半割れ型チップは年間13組使用したのみであった。

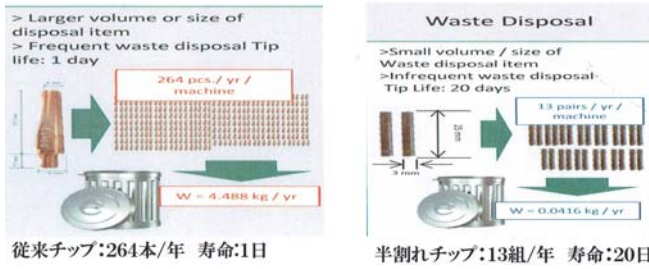


図 2 1 オートバイ工場の年間チップ使用数の比較

4 8 時間連続使用した後、清掃し、再利用を 8 回繰り返した。1 つの給電チップを 3 8 4 時間使用したという、驚異的なデータである。

## 5. おわりに

この半割れ型給電チップについては約 8 年間、研究開発を行ってきた。製品の精度もトヨタ車体精工(株)の木全誠氏のご指導で、非常に安定したものとなり、今後、高電流にも使用できるチップ開発に取り組んでいる。すでに、国内および中国の特許を取得しており<sup>17)</sup>、<sup>19)</sup>、国内外で論文発表を行い<sup>20)</sup>~<sup>22)</sup>、製品の販売へと繋げていきたい。

### 参考文献

- 1) V.Ya. Brigidin ら;(自動・半自動溶接機の通電チップ寿命の増大), ABTOMAT.CBAPKA, 33-1(1980), pp.67-79
- 2)Zwickert ら,(MIG/MAG 溶接ワイヤのコンタクトチップの通電性), Schweisstechnik,34-8(1984), pp348-350
- 3)H.Berger G.Pfeiffer; (MAG 溶接の通電チップ), ZIS 28-6 (1986),pp. 634-641
- 4)H.Stouch;(種々の材料の通電チップの磨耗の研究, Schweisstechnik), 36-6(1986) , pp. 273-274
- 5)T.Yanada and O.Tanaka; Fluctuation of the Wire Feed Rate in Gas Metal Arc Welding, Welding J. 76-9(1987),pp3542
- 6)T.P.Quinn ,R.B.Madigan, M.A. Mornis et al; Contact Tube Wear Detection in Gas Metal Arc Welding, Welding J. 74-4(1995),pp.115s-121s
- 7)H .Tier und S.Schreiber; Current contact tip life -Evaluation for different contact tip materials and shapes, Schweissen und Schneiden, 47-5 (1995), pp.E88-E90, pp.356-362
- 8)M.P.Sipkes ら; Calculation of the electrical Resistance between contact tube and welding wire during GMA

welding

based on measurement of the contact force, Proc. Of 7<sup>th</sup> Joining of Metals, 31 May,1995, Elosinger,DK, pp.487-495

9)J.Villafuerte; Understanding Contact Tip longevity for Gas Metal Arc Welding, Welding J. 78-12(1999),pp.29-35

10)W.Moler ら; Contact tubes with improved characteristics made of extruded composite materials, Schweissen und Schneiden, 53-9(2001),pp.E214-E216

11) V.T.Fedko and H.-U. Menzel; Welding current su 清掃

plies used in automatic and mechanized fusion Welding, Welding international, 19-05 (2005),pp.406-412

12)V.A.Lebedev; Improving the design of current-conducting guides in equipment for mechanized arc welding processes, Welding international, 19-04(2005),pp.321-325

13)松井仁志 ; 溶接技術,62-3(2014),pp105-112

14)恵良哲生ら ; 溶接技術,63-7(2015),pp55-59

15)上月渉平ら ; 溶接技術,64-2(2016),pp57-61

16)鈴木励一 ; 溶接技術,62-2(2014),pp61-67

17)国内特許 ; 特許第 4 2 6 1 5 1 9 号 : 分割型溶接チップ

18) 国内特許 ; 特許第 4 6 8 3 6 7 3 号 : 溶接給電用コンタクトチップおよびそれを用いた溶接トーチ

19) 中国特許 : Z L 2 0 1 0 8 0 0 0 0 7 4 1

20) 沓名宗春、村上隆昭 : 溶接学会、溶接法研究委員会資料、SW-3 3 3 1-1 0

21) ) 沓名宗春、村上隆昭 : 溶接学会、溶接法研究委員会資料、SW-3 5 5 6-1 4

22)M. Kutsuna, T. Murakami: Development of Two piece type Contact Tip for Long Life. IIW Doc. XII-2171-14