

|||||
論 文
 |||||

W/Cu 複合型電極によるめっき鋼板のスポット溶接における電極寿命改善機構

桜田 康弘* 家成 徹** 黒部 淳*** 朝田 博**** 向江 信悟*****

Electrode Life Improvement Mechanism in Spot Welding of Coated Steel Sheet by W/Cu Hybrid Electrode

Yasuhiro Sakurada, Toru Ienari, Jun Kurobe, Hiroshi Asada, Shingo Mukae

Synopsis:

To improve the electrode life in spot welding of hot-dip Zn-6%Al-3%Mg alloy coated steel sheet, the W/Cu hybrid electrode was developed. Electrode life improvement effect and its mechanism was investigated. The results are as follows.

- (1) W/Cu hybrid electrode can be used for conventional spot welders under common welding conditions. Plating elements of steel sheets does not alloy with W at the electrode tip, the enlargement of electrode tip diameter is suppressed. Accordingly the electrode life is remarkably improved in comparison with the case of 1%Cr-Cu electrode.
- (2) Cracking in the W portion is caused by the thermal and mechanical shock derived from welding, but does not have influence on the welding qualities even after regrinding of electrode tip.
- (3) In case that plating layer contains reactive metal element to W, electrode life is affected by the reactivity of the element to W.
- (4) W/Cu hybrid electrode effectively support the formation of nugget by low-heat removal effect due to the low thermal conductivity and heating effect due to high electrode resistance of W.

1. 緒 言

Zn めっき鋼板は優れた耐食性を有することから、住宅分野をはじめ自動車や家電など様々な分野で使用されている。中でも近年開発された溶融 Zn-6%Al-3%Mg 合金めっき鋼板（以下、ZAM 鋼板と記す）は他の Zn 系めっき鋼板よりも優れた耐食性を有しており^{1,2)}、加工後に電気 Zn めっき、カチオン電着塗装、浸漬めっきなどの防食を行う使用形態からめっき鋼板を加工したまま使用する形態への転換が可能な防食材料として、使用が増加している。

めっき鋼板を用いて製品を製造する際にはプレス成形で部品に加工した後に、スポット溶接が施される場合があるが、めっき鋼板のスポット溶接においては冷延鋼板と比べて電極寿命が大幅に短くなるのが大きな課題となっている。めっき鋼板の電極寿命については、電極とめっき成分が合金化し、電極先端に脆弱な合金層が形成され、この合金層が剥離と形成を繰り返すことで電極先

端径が拡大し、電流密度が低下することが原因と言われている^{3,4)}。

スポット溶接における電極寿命の改善策としては高温時の軟化抑制を図るために高温強度を高めた材質の電極を用いたり⁵⁾、電極先端径拡大による電流密度低下防止のために打点数の増加とともに電流値を上げていく電流値制御法⁶⁾など、これまでに数多く検討されてきたが、いずれの手法においても大幅な寿命改善には至っていない。

そのため、著者らは電極寿命の主原因である電極とめっき成分の合金化による電極先端径の拡大を抑制することを目的に、Zn 系めっき鋼板のめっき主成分である Zn と合金化反応せず⁷⁾、且つ高温強度が高い特性を有するタングステン（以下、W と記す）に着目し、W メーカーである日本タングステン株式会社と共同で W と銅（以下、Cu と記す）による複合型電極を開発した^{8,9)}。

本報では ZAM 鋼板を対象材料として、新たに開発した W/Cu 複合型電極による電極寿命の改善効果について調査し、めっき鋼板における連続スポット溶接現象に

* 加工技術研究部 加工第一研究チーム 主任研究員

** 加工技術研究部 加工第一研究チーム

*** 加工技術研究部 加工第三研究チーム チームリーダー

**** 加工技術研究部 加工第一研究チーム チームリーダー

***** 日本タングステン株式会社 電材部品部 製造技術グループ 主査

影響を与える因子ならびに電極寿命改善メカニズムについて検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

Table1 には実験に用いた供試材の明細を示す。供試材には、板厚 0.7mm, 片面めっき付着量 60g/m^2 の ZAM 鋼板で、後処理は行っていないものを用いた。

Table1 Coated steel sheets used for experiment

Coating	Sign	Thickness (mm)	Coating weight per side (g/m^2)	After treatment
Zn-6%Al-3%Mg	ZAM	0.7	60	-

2.2 電極仕様

Fig.1 には開発した W/Cu 複合型電極の外観および断面、Table2 および Fig.2 には電極材質と形状を示す。W/Cu 複合型電極は日本タングステン株式会社の NDB (Non Defective Bonding) 法¹⁰⁾ と呼ばれる手法によって W と Cu を直接接合した複合型の電極であり、電極先端部だけに W を埋め込んだ構造である。

電極形状は広い分野で多用されている先端径 6mm の DR 型とし、電極先端に埋設された W は直径 6mm, 高さ 5mm とした。

また、比較として一般的に使用されている 1%クロム銅合金（以下 1%Cr - Cu 合金）の電極を用いた。

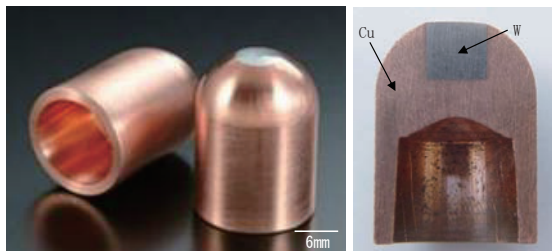


Fig.1 Appearance and cross section of W/Cu hybrid electrode.

Table2 Electrode tip for spot welding

Shape	Shape: Φ 6DR	
	Diameter of electrode point : Φ 6mm, R of tip point : 40mm, R of shoulder : 8mm	
Material	1%Cr - Cu Alloy	W/Cu Hybrid
Sign	1%Cr - Cu	W/Cu

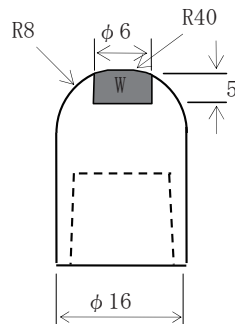


Fig.2 Shape of electrode tip.

2.3 溶接条件

Table3 には溶接条件を示す。スポット溶接機は単相交直定置式のものを用い、適正溶接電流範囲は自動車メーカーなどの評価指標であるナゲット径 $4\sqrt{t}$ (t : 板厚 [mm]) が得られる電流値からチリが発生する電流値までとした。

電極寿命を求める連続打点試験は作業環境を考慮してチリの発生しない条件で行うこととして、チリ発生電流値の 97% の電流値で実施した。電極寿命は 100 打点ごとにサンプリングを行い、溶接部の断面観察によってナゲット径が $4\sqrt{t}$ を維持する最大の打点数とした。また、サンプリング時には感圧紙により電極と鋼板の接触領域を記録し、これを基に電極先端径の推移を調査した。

Table3 Spot welding conditions

Welding machine	Single phase AC spot welding machine
Squeeze time (cycle)	35
Welding time (cycle)	12
Hold time (cycle)	1
Electrode force (kN)	1.5
Welding current of continuous test (kA)	Current of expulsion \times 97%

3. 実験結果

3.1 適正溶接電流範囲

Fig.3 には ZAM 鋼板における 1%Cr - Cu 合金電極と W/Cu 複合型電極の適正溶接電流範囲を示す。

W/Cu 複合型電極は 1%Cr - Cu 合金電極とほぼ同等の適正溶接電流範囲であり、従来の溶接機・溶接条件で溶接することが可能である。

Electrode	Welding current (kA)		
	6	7	8
1%Cr - Cu	NG	OK	Expulsion
W/Cu	NG	OK	Expulsion

Fig.3 Optimum welding current range for each electrode.

3.2 連続打点試験

Fig.4 には連続打点試験におけるナゲット径の推移を示す。1%Cr - Cu 合金電極を用いた場合の電極寿命は 600 打点であるのに対して、W/Cu 複合型電極は 10,000 打点でも基準のナゲット径を下回ることはなく、10,000 打点以上の電極寿命を有する結果が得られた。

また、Fig.5 には W/Cu 複合型電極の各打点時の溶接

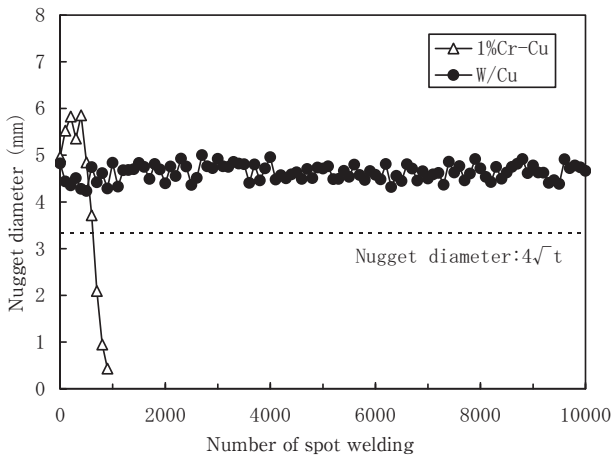


Fig.4 Change of nugget diameter with number of spot welding in electrode life test for ZAM steel sheet.

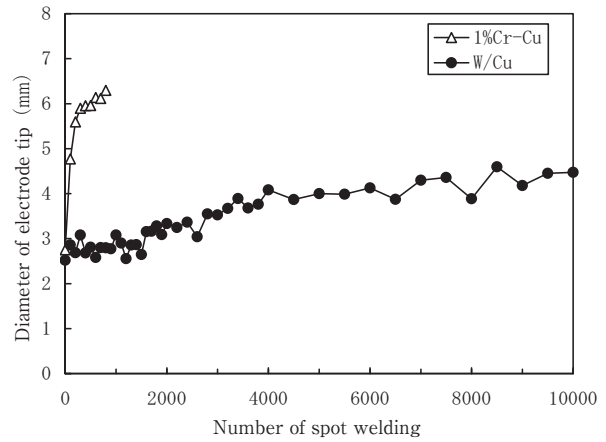


Fig.6 Change of electrode tip diameter with number of spot welding in electrode life test for ZAM steel sheet.

Number of spot welding	Weld cross section
1	
5,000	
10,000	

1mm

Fig.5 Cross section of weld with number of spot welding in electrode life test for W/Cu hybrid electrode .

部断面を示すが、W/Cu 複合型電極は5,000打点目、10,000打点目においても、1打点目と相違はなく、安定したナゲットが形成されている。

Fig.6には連続打点試験における電極先端径の推移を示す。1%Cr - Cu 合金電極が連続打点試験開始後、急激に電極先端径が拡大しているのに対し、W/Cu 複合型電極は電極先端径の拡大速度が遅いことによるものと考えられ、それにより電流密度の低下が抑制されたことで打点数が増加しても安定したナゲットが形成されたものと考えられる。

3.3 再研磨品の溶接品質

スポット溶接で使用される電極は通常、マージンを取って溶接品質を確保するため電極寿命の5~7割の打点数で交換、或いは電極先端部を研磨することで継続して使用され、一つの電極に対し数回研磨が行われる。

そのため、次にW/Cu 複合型電極の再研磨品の溶接品質についても調査を行った。前項の連続打点試験条件において10,000打点連続打点試験を行い、試験後の電極先端部を再研磨した後、同様に連続打点試験を行うことを繰り返した。Fig.7には連続打点試験後の再研磨量を0.5mmとして、6回試験を繰り返した際の電極先端の外観と電極寿命の一例を示す。

再研磨を行った後のW表面には割れが確認されるが、連続打点試験と再研磨を繰り返し行っても割れの数は大きく変わらないことが確認された。この割れは埋め込まれたWが脆性材料であるため、加圧時の機械的な衝撃や溶接時の加熱・冷却による熱的な衝撃に対して弱いことに起因して生じたものと考えられる。割れ形態については、初期に生じた割れが衝撃を緩和することで、打点数の累計が増加しても、初期に発生した割れが進展するだけで、大きな欠損など電極が破壊する状況には至らなかったものと考えられる。

Number of regrind	Electrode tip appearance	Number of regrind	Electrode tip appearance
0		4	
2		6	

1.5mm

Fig.7 Appearance after regrinding W/Cu hybrid electrode tip (Number of spot welding : 10,000).

電極寿命については、再研磨を行った電極で連続打点試験を6回繰り返して行っても、いずれも新品の電極と同様に10,000打点以上の電極寿命が得られた。

この結果から、W/Cu 複合型電極は従来から使用されている電極と同様に、電極先端を再研磨して使用することに関して問題がなく、自動車・家電のスポット溶接に対し適用し、大幅な寿命改善効果を得ることが可能であると考える。

4. 考察

以上の様に、W/Cu 複合型電極はZAMのスポット溶接における電極寿命に対し、極めて大きな改善効果をもたらすことが明らかになった。

めっき鋼板の連続スポット溶接性にW/Cu 複合型電極が影響を与える因子について調査し、電極寿命改善のメカニズムの考察を行った。

4.1 電極寿命に影響を与える因子

4.1.1 電極とめっき層の合金化挙動

電極先端径の拡大抑制の要因であるめっきと接する電極先端部のWとめっき成分の合金化状態について調査を行った。

Fig.8には連続打点試験後の電極先端部のEPMA分析結果を示す。1%Cr-Cu合金電極では電極の主成分であるCuとめっき成分であるZn, Al, Mgによる合金層の存在が確認された。一方、W/Cu複合型電極は電極の先端表層にはめっき成分であるZn, Al, Mgの付着が認められたが、1%Cr-Cu合金電極で見られたような合金層は確認されなかった。

また、Fig.9には1%Cr-CuとWにおける温度と硬度の関係を示しているが、Wは高温時においても1%Cr-Cuより高い硬度を有している。

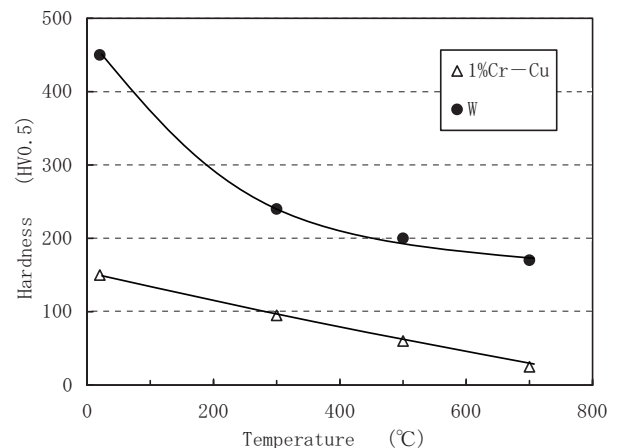


Fig.9 Relationship between temperature and Vickers hardness. (Load of the indenter:0.5gf)

このように、W/Cu 複合型電極は電極先端部のWとめっき成分が合金化しないことに加え、高い高温強度で熱による圧壊も小さいことから、電極先端径の拡大速度が遅くなったものと考えられる。

また、W部分における割れ部にはめっきの侵入が見られるが、連続打点試験においてナゲットの形成状態に大きな変化は見られていないことから、割れ部へのめっき侵入が溶接品質へ及ぼす影響はないと考えられる。

次に、合金化溶融Znめっき鋼板（以下、GA鋼板と記す）と溶融アルミニウムめっき鋼板（以下、Alめっき鋼板と記す）を用いて電極寿命の改善効果を確認し、Wとめっき成分との反応性について調査した。

供試材の板厚はいずれも0.8mm、片面めっき付着量はGA鋼板が45g/m²、Alめっき鋼板が40g/m²、後処理はGA鋼板はなく、Alめっき鋼板はクロメート処理のものを用いた。Table4にはめっき種による影響の調査に用いた供試材の明細を示す。

いずれのめっき鋼板もZAM鋼板と同様にTable2に示す溶接条件で連続打点試験を行い、電極寿命を求めた。

Electrode	SE	W	Cu	Zn	Al	Mg
W/Cu 100 μm						
1%Cr-Cu 50 μm						

Fig.8 EPMA analysis of electrode tip(cross section).

W/Cu:After 10,000 points of spot welding 1%Cr-Cu: After 1,000 points of spot welding

Table 4 Coated steel sheets used for experiment

Coating	Sign	Thickness (mm)	Coating weight per side (g/m ²)	After treatment
Zn-10%Fe	GA	0.8	45	-
Al-9%Si	HDA	0.8	40	Chromate

Fig.10 には GA 鋼板における連続打点試験時のナゲット径の推移を示す。GA 鋼板における電極寿命は 1%Cr - Cu 合金電極で 2,000 打点なのに対し、W/Cu 複合型電極は 4,000 打点と電極寿命は改善されるが、その改善効果は 2 倍と ZAM 鋼板の場合に比べて小さくなった。また、W/Cu 複合型電極の電極寿命の打点数も ZAM 鋼板の 10,000 打点以上という結果と比較すると、半分以下と短くなった。

Fig.11 には GA 鋼板における連続打点試験時の電極先端径の推移を示す。電極先端径の推移も ZAM 鋼板とは異なり、GA 鋼板では W/Cu 複合型電極と 1%Cr -

Cu 合金電極とでは大差なく推移している。

Fig.12 には Al めっき鋼板における連続打点試験時のナゲット径の推移を示す。Al めっき鋼板においては、W/Cu 複合型電極は 1%Cr - Cu 合金電極よりも電極寿命は大幅に改善されるが、電極寿命の打点数は 3,500 打点と ZAM 鋼板と比べると半分以下と短くなった。

Fig.13 には Al めっき鋼板における連続打点試験時の電極先端径の推移を示す。W/Cu 複合型電極は 1%Cr - Cu 合金電極よりも電極先端径の拡大は抑制されているが、ZAM 鋼板の結果と比べると、2,000 打点程の早期に 1%Cr - Cu 合金電極が寿命となる先端径に達している。

GA 鋼板や Al めっき鋼板において、W/Cu 複合型電極の電極寿命が ZAM 鋼板と比べて半分以下と大幅に低下した原因については以下のように考える。

W は Zn と合金反応はしないが、Fe や Al 等とは合金

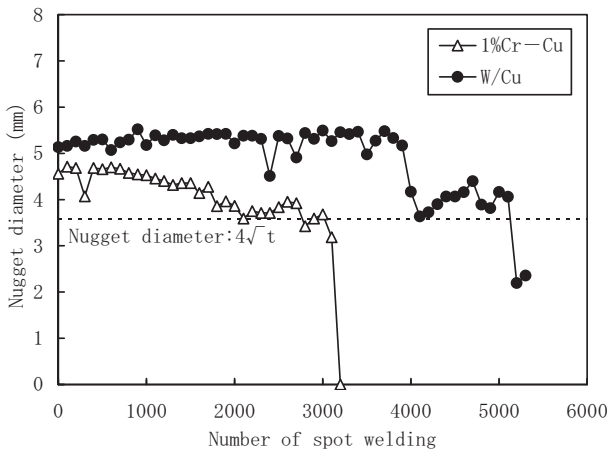


Fig.10 Change of nugget diameter with number of welds in electrode life test for galvanized steel sheet (GA).

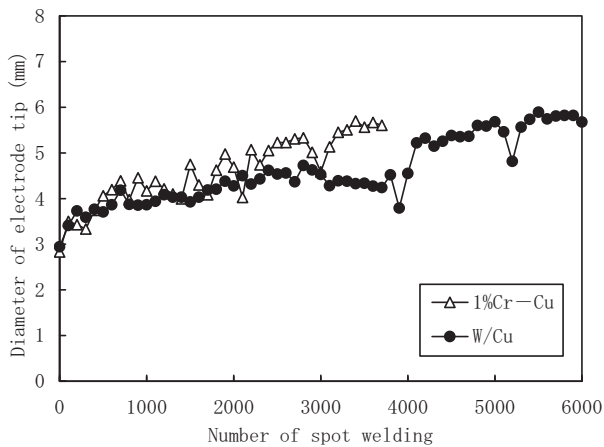


Fig.11 Change of electrode tip diameter with number of welds in electrode life test for galvanized steel sheet (GA).

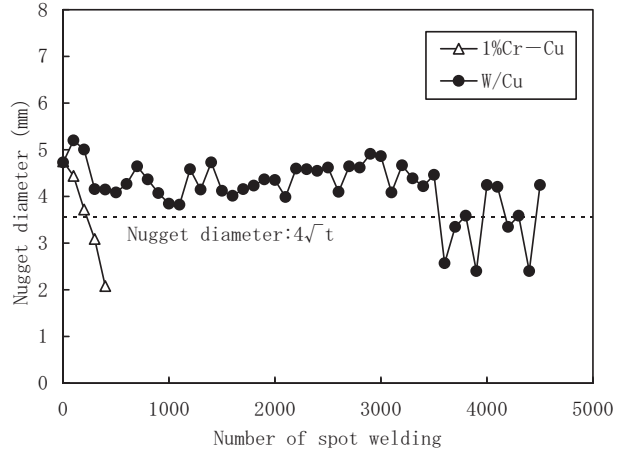


Fig.12 Change of nugget diameter with number of welds in electrode life test for hot-dip aluminum-coated steel sheet (HDA).

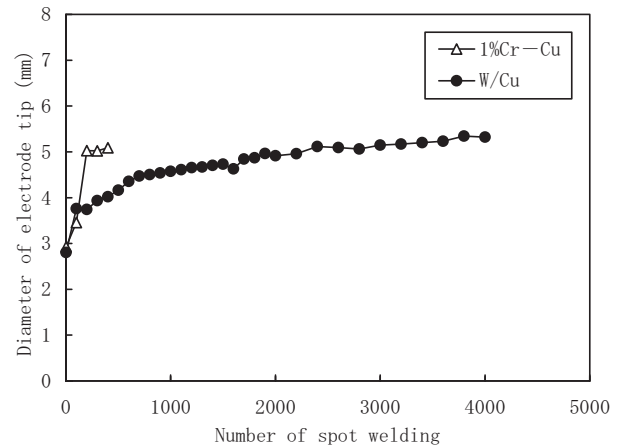


Fig.13 Change of electrode tip diameter with number of welds in electrode life test for hot-dip aluminum-coated steel sheet (HDA).

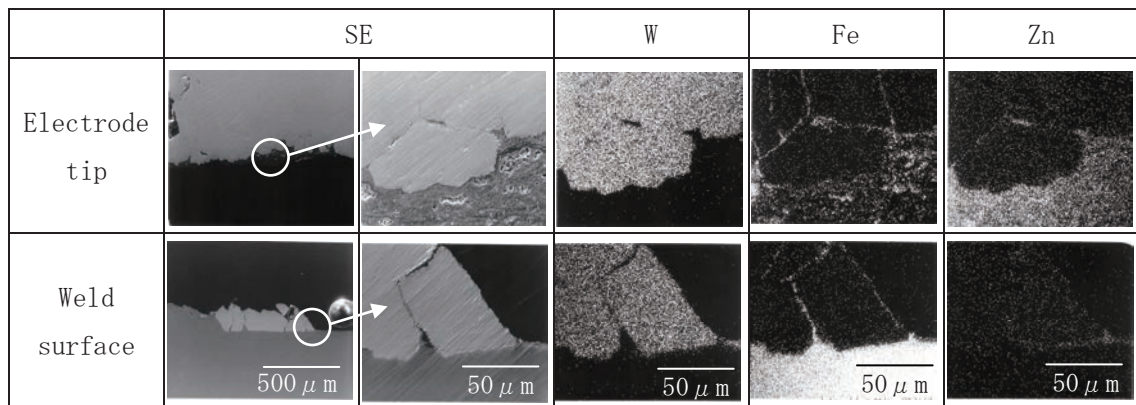


Fig.14 EPMA analysis of W/Cu hybrid electrode tip and weld surface of galvanized steel sheet (GA).

反応をする特性がある^{11,12)}。そのため、合金化処理が施されたGA鋼板ではめっき層中のFeと、Alめっき鋼板ではAlと合金反応し、溶着現象が生じてWの剥離が進行したものと考えられる。

Fig.14にはGA鋼板を溶接したW/Cu複合型電極の先端部と溶接打痕部表層のEPMA分析結果を示す。打痕部表層にはWが付着するような形で存在しており、電極からのWの脱落が確認された。また、電極先端部および打痕部表層に付着したWには粒界にFeが浸入していることから、Wの粒界への合金元素の浸入が脱落を助長しているものと考えられる。

Fig.15には各めっき鋼板の連続打点試験時におけるW/Cu複合型電極の電極先端径の推移を比較した結果を示す。電極先端径の拡大はZAM鋼板が最も小さく、次いでGA鋼板、Alめっき鋼板の順に大きくなっている。これは電極寿命の調査で得られた結果と相関性があり、電極寿命が長いほど電極先端径の広がりは小さくなって

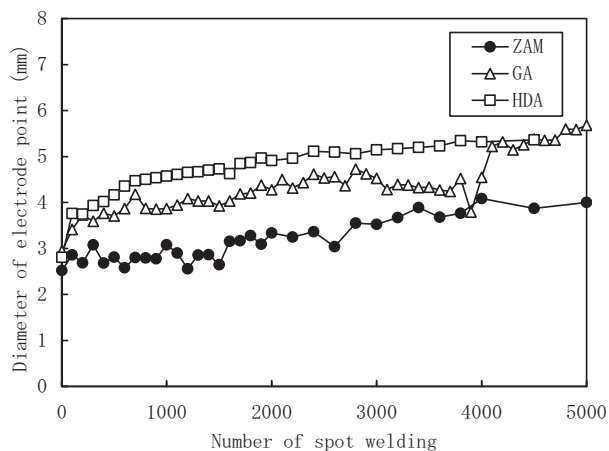


Fig.15 Change of W/Cu hybrid electrode tip diameter with number of spot welding in electrode life test for ZAM, galvanized (GA) and hot-dip aluminum-coated (HAD) steel sheets.

いる。

GA鋼板におけるめっき成分中のFeの比率は約10%であり、Alめっき鋼板よりもWと合金反応する成分比率としては少ない。しかし、GA鋼板とAlめっき鋼板におけるW/Cu複合型電極の電極寿命や電極先端径の拡大量において大差がないことから、合金反応する成分比率よりもWとの合金反応性が影響するものと考えられる。

そこで、Wと合金反応するFeの比率が100%となる冷延鋼板を用いて、W/Cu複合型電極の連続スポット溶接性を調査した。

Fig.16には冷延鋼板において、W/Cu複合型電極を用いて20打点溶接をした場合の電極先端と溶接打痕部の外観を示す。冷延鋼板にW/Cu複合型電極を用いた場合は電極と鋼板の溶着が頻発し、電極先端ではWの脱落が見られた。また、溶接打痕表面においても溶着によって脱落したWが打痕部に凝着している様子が見られ、WはFeと強い合金化反応性を有することが確認された。

以上のことから、W/Cu複合型電極の連続スポット溶

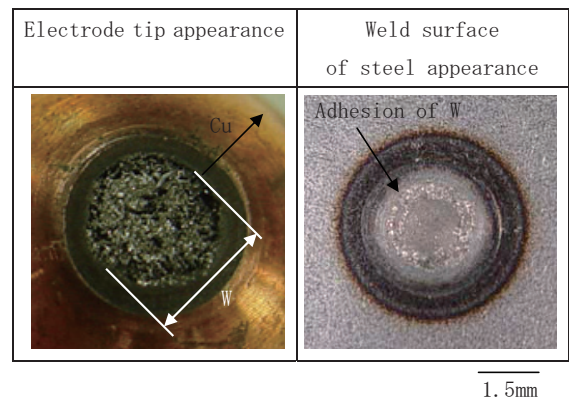


Fig.16 Appearance of W/Cu hybrid electrode tip and the weld surface of cold rolled steel sheet. (After 20 points of weld)

接性に与える影響の因子としては、W と合金化する成分比率よりも、W との合金反応性の強さの方が大きいと考えられる。

4.1.2 電極の温度挙動

Fig.17 には ZAM 鋼板における各電極による同一条件で 1 打点溶接後の溶接部断面の一例を示す。ナゲットの形成状態について比較すると、板幅方向への成長には大差はないが、板厚方向への成長は W/Cu 複合型電極の方が大きくなっている。

この板厚方向へのナゲット成長の差については電極材質の物理特性の差より考察を行った。Table5 には 1%Cr - Cu 合金と W の諸特性を示す。

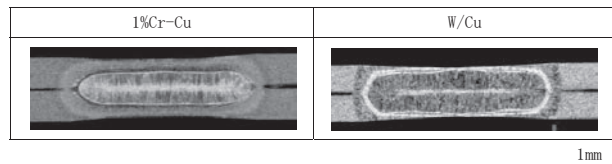


Fig.17 Cross section of weld using 1%Cr-Cu and W/Cu hybrid electrode for ZAM steel sheet. (After 1 point of weld)

Table5 Characteristics of 1%Cr-Cu and W

	1%Cr-Cu	W
Thermal conductivity (W/m·K)	392	167
Electrical conductivity (%)	80	30
Electrical resistivity ($\Omega \cdot m$)	1.68×10^{-8}	5.5×10^{-8}

W は熱伝導率が 1%Cr - Cu 合金の半分以下と低い。スポット溶接に使用される電極は、被溶接材表面の溶融防止および電極先端の軟化抑制、溶融部の凝固促進のために電極内部が水冷されている¹³⁾。それにより、鋼板表面と接する電極先端部の材質の熱伝導率が低い場合は、溶融部の熱が鋼板を伝わって水冷された電極へ抜熱される割合が小さくなる。そのため、熱伝導率が低い W/Cu 複合型電極の場合は、電極への抜熱が抑えられ板厚方向へナゲット成長が促進されるものと考えられる。

そこで、この W/Cu 複合型電極で抜熱が抑えられていることを確認するために溶接時の電極の温度履歴について調査した。

Table6 には供試材の明細、Table7 には溶接条件、Fig.18 には電極仕様および温度測定位置を示す。電極の温度測定については熱電対による測定用の孔加工が必要のため、Fig18 に示す大型の電極を用いた。熱電対は電極の側面に 1mm の孔を開けて挿入し、溶接時の温度を測定した。W/Cu 複合型電極においては W に孔加工を施すと溶接時に破壊する懸念があるため、中心部ではなく Cu との境界部に当たる W 芯材の外周表層部を測定した。1%Cr - Cu 合金電極は W/Cu 複合型電極と同

Table6 Coated steel sheets used for experiment

Coating	Sign	Thickness (mm)	Coating weight per side (g/m^2)
Zn-6%Al-3%Mg	ZAM	4.0	90
		4.5	

Table7 Spot welding conditions

Welding machine	Single phase AC spot welding machine
Squeeze time (cycle)	60
Welding time (cycle)	175
Hold time (cycle)	35
Electrode force (kN)	11
Welding current (kA)	18.5

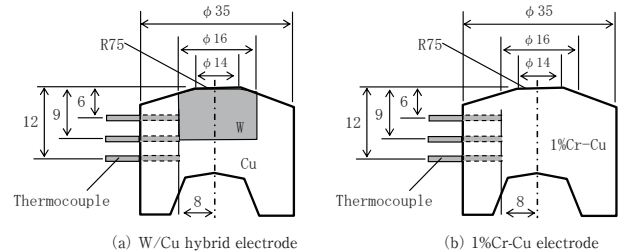


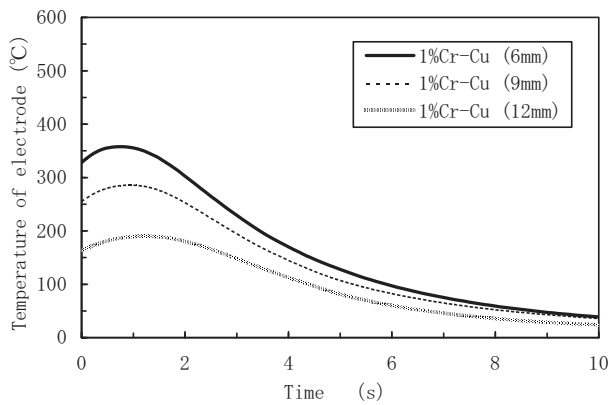
Fig.18 Electrode specifications and temperature measurement locations.

じ位置で温度測定をした。連続打点試験時には Table7 に示す溶接条件で打点間隔を 2 秒として溶接を行い、適宜、温度測定を行なった。

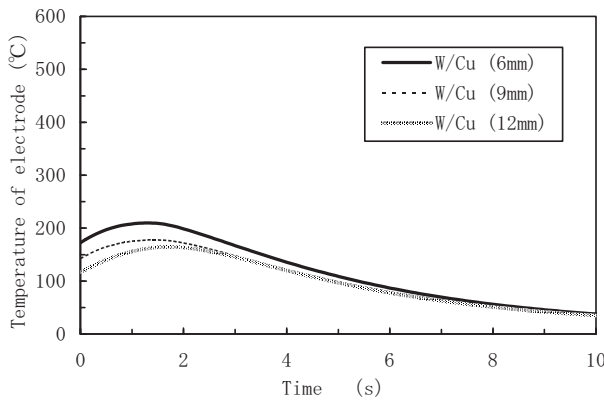
Fig.19 には各電極の通電終了後の温度変化を示す。1%Cr - Cu 合金電極では約 350℃ まで達するのにに対し、W/Cu 複合型電極は約 200℃ 程度であった。また、1%Cr - Cu 合金電極は最高到達温度が 2 倍ほど高いにも関わらず、100℃ 以下となるのに要する時間は W/Cu 複合型電極と大差がない。

抵抗溶接プロセスにおいて、最も発熱しているのはナゲット部分であり、電極はナゲットから熱が伝わって加熱され、冷却水によって冷却される。電極の温度変化に対しては電極材質の物性、特に熱伝導率が支配的であるため、上記の結果のような電極の温度挙動は Table5 に示した熱伝導率の差によるものと考えられる。

Fig.20 には連続打点試験時の電極最高到達温度と電極先端径の推移を示す。W/Cu 複合型電極の最高到達温度は連続溶接においても大きな変化はなく、横ばいで推移しているのに対し、1%Cr - Cu 合金電極では打点数の増加に伴って低下傾向が見られた。1%Cr - Cu 合金電極では打点数が増すに連れて電極先端がめっき成分と合金化し、電極先端径が拡大することで電流密度が低下する。それにより発熱量が低下し、電極がナゲットから受ける熱量が小さくなるものと考えられる。一方、W/Cu 複合型電極では電極先端径が拡大しているにも関わらず、電極最高到達温度はさほど変化していない。これは、抵抗発熱は抵抗値が高くなるほど発熱が大きくなるという抵抗溶接の原理である式 (1)¹⁴⁾ から考えると、



(a) 1%Cr-Cu electrode



(b) W/Cu hybrid electrode

Fig.19 Change of temperature of electrode which was measured just after welding.

W は Tale5 および式 (1) に示すように電気抵抗が高いために通電によって W 自体が発熱することによるものと考えられる。

$$Q=0.24 \times 4.2 \times \rho \times (I / A)^2 \times (LA) \times t \dots (1)$$

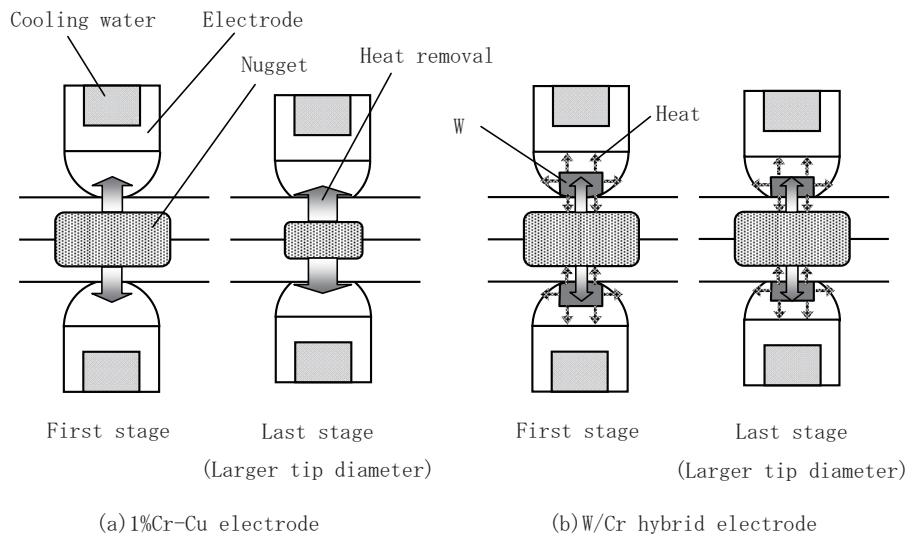


Fig.21 Nugget formation process in spot welding by each electrode.

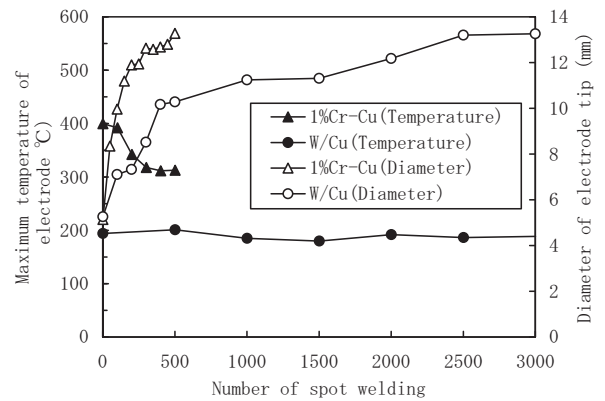


Fig.20 Maximum temperature of electrode tip in electrode tip life test.

ここで Q は抵抗発熱量 (J), ρ は固有抵抗 ($\Omega \cdot m$), I は電流 (A), A は通電面積 (m^2), L は通電長さ (m), t は通電時間 (s) を表す。

Fig.21 には 1%Cr - Cu 合金電極と W/Cu 複合型電極における電極寿命に対するナゲット形成状態の模式図を示す。1%Cr - Cu 合金電極においては電極先端径が拡大すると電流密度の低下による発熱量の減少に加え、熱伝導率が高いことに起因して電極からの水冷効果が大きくなり、ナゲットの形成が困難な状況になっていくものと考えられる。それに対して W/Cu 複合型電極では、1%Cr - Cu 合金と同程度の電極先端径に拡大した場合でも熱伝導率が低いために電極からの水冷効果は小さくなる。さらに、高い電気抵抗に起因して W 自体が発熱することで、電極から鋼材に熱を供給する形になり、電極先端径が多少拡大しても十分にナゲットが形成されるものと考えられる。

4.2 W/Cu 複合型電極の電極寿命向上の要因

W/Cu 複合型電極がめっき鋼板のスポット溶接性に及ぼす影響因子について考察した結果、以下が明らかとなった。

W/Cu 複合型電極においても電極先端部の W とめっきとの合金反応性が電極寿命へ及ぼす重要な因子である。また、W/Cu 複合型電極は W の低熱伝導率と高抵抗に起因した低抜熱性と W 自体の発熱作用がナゲット形成に対してプラスの要因として作用している。

これらの要因により、W/Cu 複合型電極は W と合金反応する Fe、Al などの含有量が少ない ZAM 鋼板に対して、大幅な電極寿命の改善効果を得ることができたものと思われる。

5. 結 言

Zn めっき鋼板のスポット溶接における電極寿命の改善策として、めっき主成分である Zn と合金化反応せず、且つ高温強度が高い特性を有する W に着目し、めっき成分との非合金化による電極先端径の拡大抑制が図られる新しい電極を日本タングステン株式会社と共同開発した。ZAM 鋼板への適用を主眼に開発した W/Cu 複合型電極による電極寿命の改善効果について調査し、めっき鋼板における連続スポット溶接現象に影響を与える因子ならびに電極寿命改善メカニズムについて検討した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) W/Cu 複合型電極は従来の溶接機・溶接条件で溶接が可能である。また、ZAM 鋼板の溶接に適用した場合、電極先端の W がめっきと合金化せず、電極先端径の拡大が抑制されて 1%Cr - Cu 合金電極よりも飛躍的に電極寿命が改善された。
- (2) 溶接時の加圧による機械的衝撃や加熱・冷却による熱的衝撃に起因して W に割れが生じるが、溶接品質には影響を及ぼさず、従来と同様に再研磨を行なうことも可能である。
- (3) W と合金化する成分を含有しためっき鋼板では、電極との合金反応性が電極寿命に大きく影響を及ぼす。
- (4) W/Cu 複合型電極は W の熱伝導が低いことに起因して抜熱効果が小さいこと、および高抵抗に起因する電極自体の発熱がナゲット形成に対して有効に働き、ナゲット成長を促進させるものと考えられ、打点数が多くなった場合においても十分なナゲットが

形成されるものと考えられる。

参考文献

- 1) 小松厚志, 泉谷秀房, 辻村太佳夫, 安藤敦司: 日新技報, No.81 (2001), 10.
- 2) 清水剛, 吉崎布貴男, 三吉泰史, 安藤敦司: 日新技報, No.85 (2004), 11.
- 3) 溶接学会抵抗溶接研究委員会編, 溶接学会技術資料, No.8 (1983), 137.
- 4) 山口雅彦, 田中福輝, 宮原征行: 神戸製鋼技報, Vol.43, No.2 (1993), 115.
- 5) 溶接学会抵抗溶接研究委員会編, 溶接学会技術資料, No.7 (1982), 204.
- 6) 溶接学会抵抗溶接研究委員会編, 溶接学会技術資料, No.7 (1982), 207.
- 7) ASM International, Binary Alloy Phase Diagrams Second Edition, Volume3, (1990), 3532.
- 8) 桜田康弘, 黒部淳, 朝田博, 向江信悟, 寺本修一: 溶接学会全国大会講演概要, 88 (2011), 150
- 9) 向江信悟: ニッタン技報, No.40 (2010), 6.
- 10) 上野智行, 向江信悟: ニッタン技報, No.36 (2006), 8.
- 11) 岩瀬慶三, 岡本正三: 二元合金の標準状態図, (1952), 293.
- 12) 岩瀬慶三, 岡本正三: 二元合金の標準状態図, (1952), 84.
- 13) 溶接学会軽構造接合加工研究委員会編, 薄鋼板及びアルミニウム合金板の抵抗スポット溶接現象とその応用, (2008), 8.
- 14) 中村孝, 小林徳夫, 森本一: 現代溶接技術体系, 8 (1980), 11.