

アルミニウム材のスポット溶接における 電極寿命に関する研究

Study of Electrode Life in Resistance Spot Welding on Aluminum Alloy

矢羽々 隆 憲* 林 登*

Takanori YAHABA Noboru HAYASHI

要 旨

アルミニウム材のスポット溶接性を向上させるべく電極劣化のメカニズムについて検討を行った。

連続したスポット溶接の工程において、電極表面とアルミニウム材との間に合金相 (θ 相: CuAl_2) が形成されることと、電極表面にアルミニウム材から移動してきた MgO が堆積することで、電極の変形と通電路の障害が発生し、溶接性を著しく低下させることが明らかになった。これらにより、電極寿命を向上させるためには、電極材の導電率を高くし、電極先端に発生する熱を抑制することが重要であることが把握でき、併せて、各種溶接条件についても、同様な観点で最適な条件設定を導くことができた。

ABSTRACT

Wearing mechanism of electrode on aluminum spot welding was analyzed to increase weldability of aluminum alloy sheets. The reduction of weldability results from the local deformation of the electrode tip and the reduction of the contact area, caused by alloy-phase (θ phase: CuAl_2) which is formed between the tip and the sheet, and MgO which is pick upped from the sheet and deposited on the tip. Therefore, to make the electrode life longer, heat at the top of the tip should be controlled by increasing the conductivity of the tip material. By the same way, proper value ranges are set up on various conditions for the aluminum spot welding.

1. まえがき

NSXにおけるオールアルミニウムボディの軽量化技術は、動力性能や操安性能によって、その成果を証明することができた。しかし、アルミニウムボディの大量生産化には、克服しなければならない多くの課題が残されており、本論では、ボディの接合技術において、大量生産に欠く事のできないスポット溶接に関して、生産性の向上を目的とする電極の劣化メカニズムの解明と電極の材料開発および溶接条件の設定について行った検討結果を報告する。

2. スポット溶接電極材耐久性向上の狙い

2. 1. 電極材料

アルミニウム材のスポット溶接は、鋼板に比べて熱伝導度と導電率が高く、大電流が必要となるため、電極先端部の損耗が起り易い。

電極寿命の評価としては、一般に連続打点性試験と言われる一定の強度要件が満足できる連続溶接可能な回数で判断する方法が用いられている。アルミニウムボディにおける連続打点性は、鋼板のおよそ 1/50 の 100 点前後であるため、電極のドレッシングや交換を頻繁に行う必要があり、そのロスタイムが大量生産時には、大きな障害因子となってくる。

電極寿命を向上させるため、まず劣化原因の明確化と材料スクリーニングを行い、電極材料開発の方向性を定めた。

2. 2. 各種溶接条件

溶接電源特性、アルミニウム材の表面状態、溶接条件（電流値、加圧力、通電時間）との関連性についても併せて検討することで目標とする鋼板並みの電極寿命の達成を図った。

* 栃木研究所

3. 実験方法

3. 1. 電極

電極劣化メカニズムの解明には、市販の1%Cr-Cu合金を先端R80のR型電極に成形し溶接試験に供した。また、電極材料のスクリーニングテストにはTable1, 2の材料、各種溶接条件のテストには無酸素銅の電極で確認を行った。

3. 2. 被溶接材

アルミニウム材には自動車用ボディ内板材であるA5182P-0材(厚さ1.0mm)を用いた。表面はショットダルフィニッシュで圧延のままのものと酸洗浄したものの両方で比較を行った。また、溶接時に起きる界面の発熱を比較するために、冷延鋼板と合金化溶融亜鉛メッキ鋼板(ともに厚さ0.7mm)もテストに供した。

3. 3. 溶接試験方法

電極劣化メカニズムの解明と電極材料スクリーニングの実験は、単相整流式スポット溶接機を用いた。スポット溶接の加圧力と電流波形の概略をFig.1に示す。溶接加圧力3.9kN、溶接電流21kA、溶接時間4Hz、アップスロープ1Hz、ホールドタイム50Hz、連続溶接速度は2sec/回とした。各種溶接条件の確認には、単相交流式、単相整流式、インバータ式溶接機を用い、溶接電流はウエルドロブテストによりそれぞれの最適値を設定した。溶接時の発熱量比較には、Fig. 2に示す電極と材料間の電流値、電圧値測定を行った。電流寿命は、20打点毎に2点採取した溶接部の引張りせん断荷重において、社内規格B級基準(2.2kN)未満となった打点数とした。電極先端の損耗状態を調べるため、100打点毎に上下電極間に感圧紙を挟み、電極の加圧プロファイルを測定した。また、テスト終了後の電極表面状況を光学顕微鏡および電子プローブマイクロアナライザ(以下EPMA)による解析を行った。

4. 実験結果

4. 1. 電極劣化メカニズムの解明

溶接打点数と溶接部の引張りせん断荷重の関係をFig.3に示す。素板(圧延のまま)に1%Cr-Cu電極、単相整流式の条件では、電極寿命は140打点であった。溶接

Table 1 Result of screening on electrode life

No.	Material	EC (%IACS)	HV	Electrode life (JIS-B)
1	2.4%Fe-0.4%Zn-Cu	54	143	300
2	1.0%Fe-0.5%Sn-0.5%Zn-Cu	46	132	180
3	0.15%Cr-0.1%Sn-Cu	81	139	602
4	0.1%Fe-0.03%P-Cu	78	106	181
5	2.0%Sn-0.15%Cr-Cu	33	156	80
6	0.3%Cr-0.25%Sn-0.2%Zn-Cu	75	149	200
7	2.5%Ni-0.6%Si-0.5%Zn-Cu	42	239	220
8	1.0%Cr-Cu	80	160	360

Table2 Electrode specification

	Hardness(HV)	Electric conductivity(%IACS)
EC const./ Hardness change	125	63.6
	98	63.6
	153	63.3
	138	62.1
	126	66.4
Hardness const./ EC change	120	70.9
	114	56.9
	122	60.0

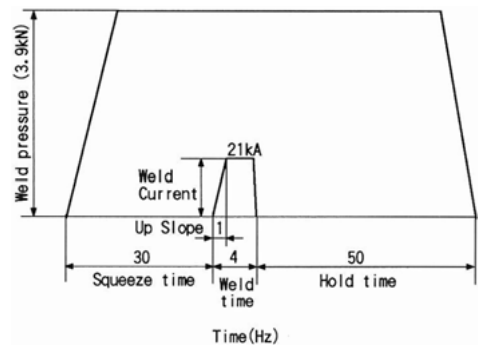


Fig.1 Schematic representation of welding cycle in consecutive welding test

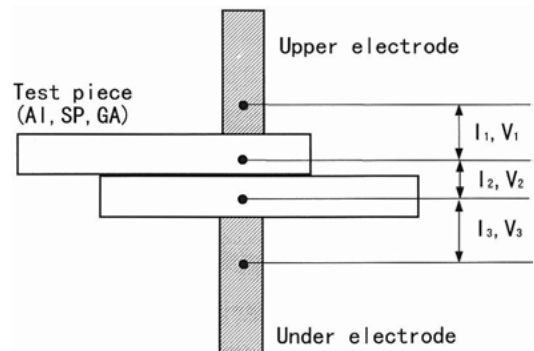


Fig.2 Comparison of measuring current and voltage between each face from upper electrode to under electrode

試験中の加圧プロファイルの変化をFig.4に示す。電極中央部に凹みが形成され、外径が次第に大きくなっている。溶接テスト後の表面形状と断面形状の測定結果をFig.5に示す。

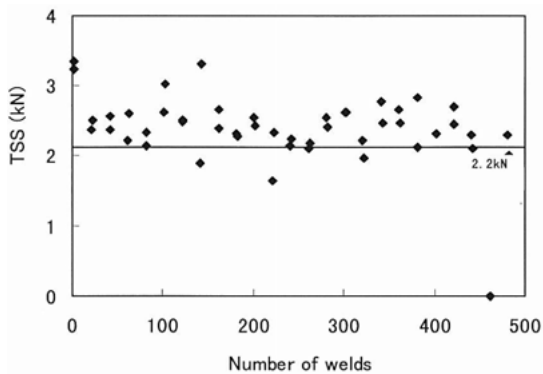


Fig.3 Result of electrode life test of aluminum alloy (as received, single phase DC)

	Number of welds										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Upper electrode											
Under electrode											

Fig.4 Relationship between number of spot welds profiles by the electrode lips during consecutive spot welding test

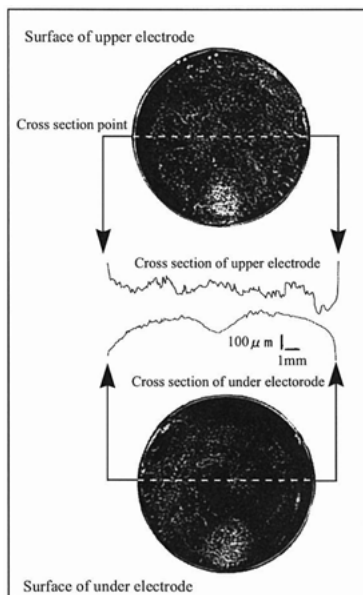


Fig.5 Cross section of electrode surface after 1000 spot welds

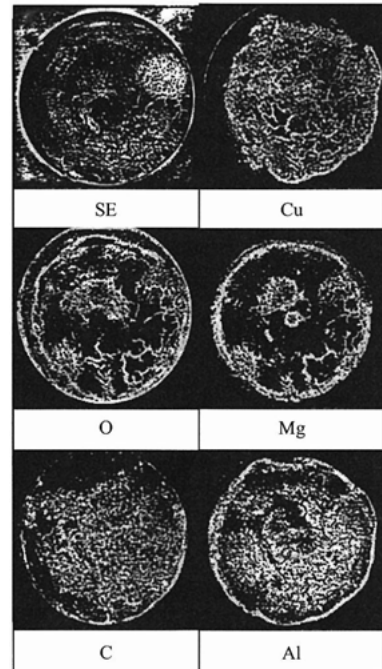


Fig.6 EPMA analysis of electrode surface after 1000 spot welds

(a) 電極先端の表面

溶接テスト後の電極のEPMA結果をFig.6に示す。電極中央部には、アルミニウムのピックアップ層が見られAl, Mg, Oが確認できる。

(b) 電極発熱

冷延鋼板、合金化溶融亜鉛メッキ鋼板、アルミニウム材の各供試における電極との、接合部界面の発熱量を比較した結果をTable 3に示す。アルミニウム材は鋼板に比べて接合界面での発熱が低く、逆に電極と被溶接材の界面での発熱は大きい。このことが溶接性を低下させ、電極の劣化が起り易くなる原因となっている。

Table 3 Comparison of heat ratio in each phase between Al, SP, GA

	AL	SP	GA
Upper electrode -upper work	42%	34%	41%
Upper work -under work	13%	31%	20%
Under work -under electrode	45%	35%	39%

(Single phase DC, 1%Cr-Cu electrode, Weld time 3Hz)

(c) 電極劣化メカニズム

劣化の初期段階として融点の低いアルミニウムが溶けて電極先端にピックアップされ、そこにCuが拡散し共晶相 (θ 相: CuAl_2) の生成が起こる。共晶相は融点が548℃とアルミニウムの融点よりも低いため、その後の溶接による熱履歴により融解し、脱落する逆ピックアップ現象が起こる。その結果、電極表面には凹凸の侵食部分が形成されることになる。電極先端中央部では、アルミニウムがピックアップされ易いため、侵食の進行が早く、凹凸が拡大していく。凹みでは、ピックアップ層が熱くなり易く、 MgO のように電気抵抗の大きな層が堆積するため、通電路が制限され溶接が不安定になる。以上のまとめをFig.7に示す。電極寿命を向上させるのには、表面のピックアップ層と MgO の生成を抑制することが重要であることがわかった。

4. 2. 電極材料

市販電極材についての連続打点テスト結果をTable 1に示す。この結果からは導電率の高い銅系材料で電極寿命が長い傾向が見られる。そこで、Table 2に示すような材料（導電率一定・硬さ変化材、硬さ一定・導電率変化材）を作製し、材料特性と溶接の相関性について確認を行い、Fig.8の結果を得た。導電率の方が硬さよりも電極寿命との相関が大きいことが確認できた。電極材料としては、導電率の高い無酸素銅が最適であることがわかった。

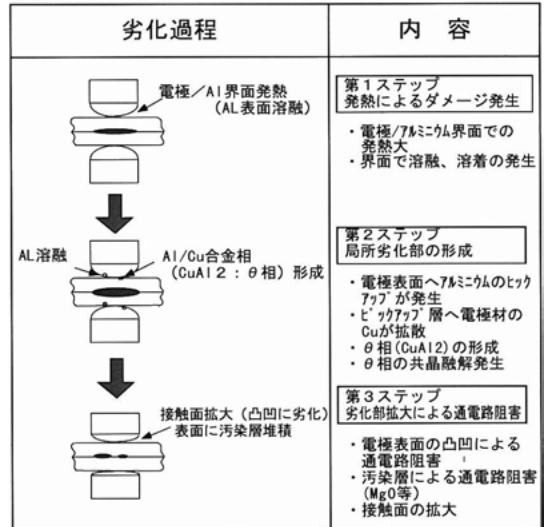


Fig.7 Mechanism of electrode life

4. 3. 各種溶接条件の影響

(イ) アルミニウム材の表面状態

スポット溶接において、アルミニウム材表面の酸化皮膜は、電極とアルミニウム材との界面での発熱を増大し、ピックアップ現象の促進原因となっている。Fig.9に示すように硝酸による洗浄により酸化皮膜を除去した材料と素板の電極寿命の比較した結果から酸化皮膜の影響が大きいことがわかった。

(ロ) 溶接電源

溶接電源については交流式と直流式の両方で確認を行った。直流式は極性があるため、交流に比べて電極の

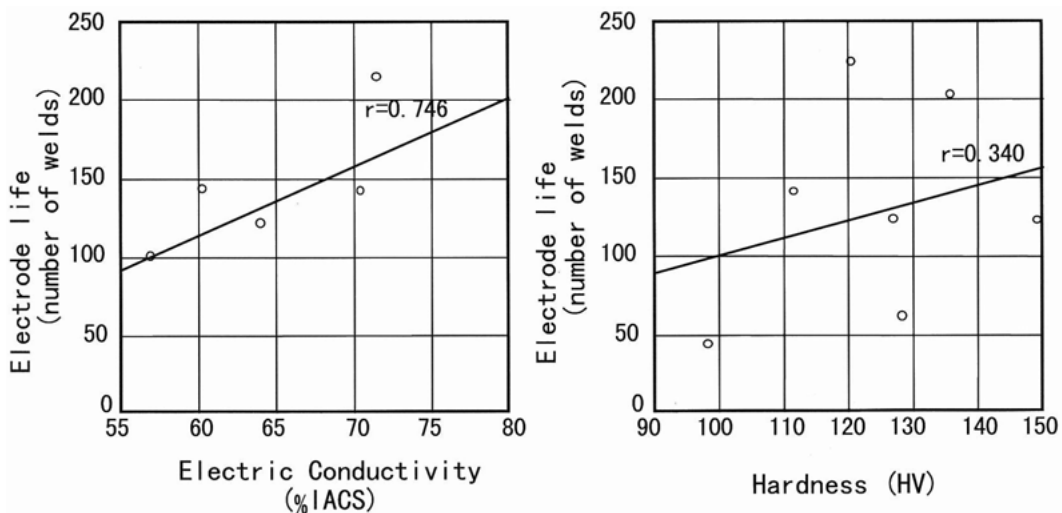


Fig. 8 Relation between EC, HV and electrode life

劣化が起こり易く、+側の電極中央に凹みの傾向が見られる。電極寿命を比較した結果を Fig.9 に示す。

(ハ) 電極先端形状

次に電極先端形状と溶接性の関係を調べた。アルミニウム材に対しては一般的に Fig.10 に示す R 型もしくは DR 型が使われる。これは、溶接時の加圧力が高いために打痕が深くなり易く、板厚減少、チリ、溶接部周辺の浮き上がり発生、強度の低下を防止するためである。

電極寿命の点では、損耗時の接触面積変化の少ない DR 型や CF 型の方が形状的に有利であるが、電極先端温度については、池田ら¹⁾の報告のように先端角度の小さなものほど温度が高くなるため、熱的には不利で、逆に R 型の方が有利になる。両方を満足する条件として、板厚 1mm の場合、DR 型先端径 6mm が最適であった。次にスポット溶接の 3 大条件（溶接電流、溶接加圧力、通電時間）の影響について検討を行った

(ニ) 溶接電流、加圧力、通電時間

溶接電流および通電時間の過大、溶接加圧力不足の場合は、電極とアルミニウムの界面での発熱が大きくなるため電極劣化は進み易くなる。一方その逆の場合は、電極劣化が起こり難くなり、溶接強度は低くなる傾向があるため、両方のバランスのとれた条件が必要となる。

5. 実部品での効果確認

以上の結果から電極材料、電極形状、被溶接材と溶接条件について最適な仕様が明確になった。その効果として、試験片による実験では従来の仕様に対し、3 倍から 10 倍の電極寿命の向上が得られた。また、量産部品における効果についても Fig.11 に示す NSX の Panel Comp, Rear で確認を行い、現行量産仕様に比べて溶接強度、溶着の両方において耐久性の向上が確認できた。尚、溶着に関しては電極とワークのはり付き度合を軽度と重度の二水準でカウントし比較を行った。結果を Fig.12 に示す。

6. まとめ

アルミニウムボディの生産性に大きく関与するスポット溶接の電極寿命について検討を行い、以下の結論を得た。

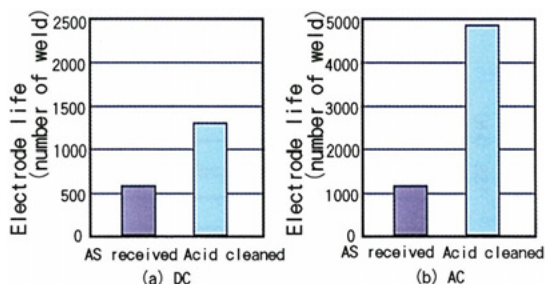


Fig.9 Relation between surface condition and electrode life in aluminum alloy sheets

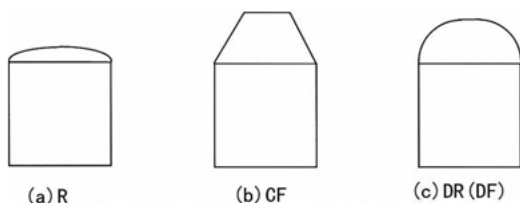


Fig.10 Configurations of electrode used

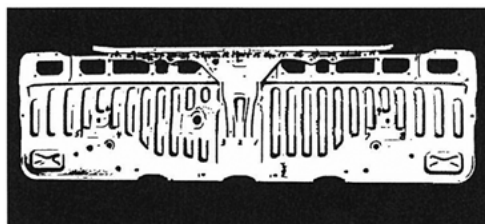


Fig.11 Panel comp, Rear
(A5182P-0, t=0.9mm/t=2.0mm)

1. アルミニウム材のスポット溶接における電極劣化には電極表面に堆積するMgOの存在が影響を及ぼしていることが明らかになった。
2. 電極寿命を向上させるには、導電率の高い電極材が有効であることが明らかになった。
3. 電源特性、アルミニウム材表面状態が電極寿命に及ぼす影響を定量的に把握することができた。
4. 各種溶接条件に関して、板厚 1.0mm の場合、
溶接電源…単相交流式
アルミニウム表面状態…酸洗浄材
電極形状…DR 型 先端径 ϕ 6mm
溶接三大条件…溶接電流値 21kA、
加圧力 3.9kN、通電時間 4Hz

以上の仕様が最も電極寿命を向上させる。

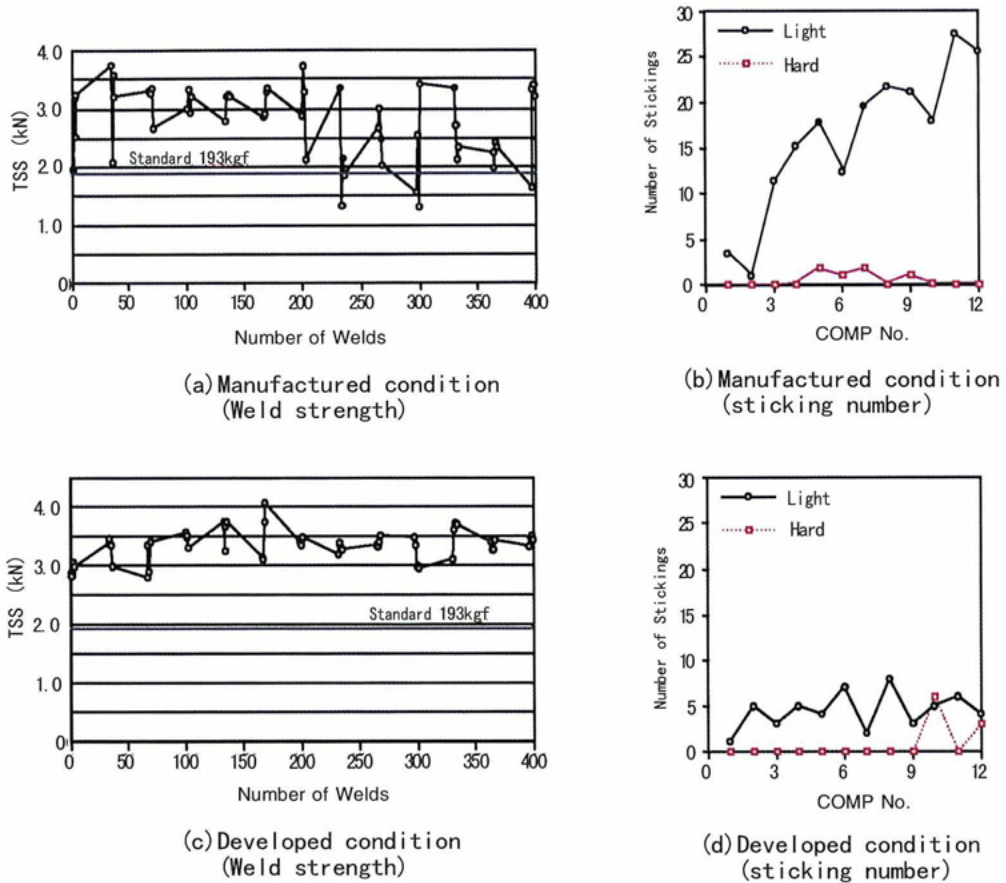


Fig.12 Comparisons of electrode life between developed condition and manufactured condition

参考文献

- 1) R. Ikeda et al, Effect of Electrode Configuration on Electrode Life in Resistance Spot Welding of Galvannealed Steel and Aluminum Alloy for Car Body Sheets」 IBEC '95, 1995
- 2) 熊谷 永田 難波 佐野、「アルミニウム合金のスポット溶接特性に及ぼすアルミナ分散強化銅電極材の影響」、伸銅技術研究会誌、pp.151-160、1992
- 3) 松山、「直流抵抗スポット溶接での電極消耗特性と電極寿命」、溶接学会系構造接合加工研究委員会資料、1989

■著 者■



矢羽々隆憲



林 登