300 ppm であり, 200 ppm 以下の低酸素域では微視組織の著しい粗大化とともに靱性が急激に劣化する。また 300 ppm を越える高酸素域では微視組織の一部に初析フェライトが観察され, 靱性が徐々に劣化する傾向を示す。

(3) 溶接金属中での Ti および B の存在形態は酸素量によって変化する。低酸素域では固溶元素として存在し, 中間酸素域から高酸素域では酸素と結合した酸化物を形成する傾向にある。

(4) 溶接金属の組織微細化は Ti および B の酸化の過程に緊密な対応を示しているが, 冶金学的機構についてはさらに検討を要する。

参 考 文 献

- 1) D.J. Abson, R.E. Dolby and P.H.M. Hart; Welding Institute Research Bulletin Vol. 19 (1978), No. 7, p. 202
- 2) R.C. Cochrane and P.R. Kirkwood; Presentation at Metals Society Seminar 'Physical Metallurgy of HSLA Weldment' Middlesbrough, 16, March, 1978.
- 3) R.C. Cochrane and P.R. Kirkwood; Welding Institute Conference 'Trends in steel and Consumables for Welding', 1978
- 4) 小平, 馬田他; 第64回 溶接法研究委員会資料1977. 7.
- 5) 伊藤, 中西; 本誌 Vol. 44 (1975), No. 10, p. 815
- 6) 金沢, 中島他; 鉄と鋼 Vol. 61 (1975) No. 11, p. 2589
- 7) 松田, 奥村; 鉄と鋼 Vol. 62 (1976), No. 10, p. 1356
- 8) 船越, 田中他; 鉄と鋼 Vol. 63 (1977), No. 2, p. 303
- 9) 日本学術振興会, 製鋼 第19委員会編, 鉄鋼と合金元素 (下), 誠文堂新光社, (1966), p. 454

交流 TIG 溶接の電波障害軽減法*

—溶接時の高周波電流通減による方法—

信原 貞男**, 窪田 武文**, 浮田 勇***

On the Method of Reducing Radio Interference in the AC TIG Arc Welding Process*

—Reduction of High Frequency Current in Welding—

by Sadao Nobuhara**, Takefumi Kubota** and Isamu Ukita***

The high frequency current which is superimposed on the AC TIG arc welding current to stabilize the arc gives sometimes rise to radio interferences. However, the perfect means to solve the troubles have not yet been found.

A new method to reduce the radio interferences is described in the paper. This technique makes skilful use of the known fact that the restriking voltage on each half-cycle decreases remarkably owing to the high temperature in arc column and electrodes after establishing a welding arc.

This method shows one of the possibilities that the radio interferences which are caused by the AC TIG arc welding process with high frequency current are almost neglected.

1. は じ め に

交流 TIG 溶接は, アルミニウム, マグネシウムなど, 主として軽合金のアーク溶接法として広く用いられている。しかし, よく知られているようにこの溶接法は,

アークの起動と安定化のために併用する高周波電源によって, 付近の送受信設備に電波妨害を引き起こすことがある。

筆者らはこの問題に関連し, 以前からアークの再点弧現象や電波障害などについて種々の検討をしてきた¹⁻⁵⁾。

その結果, これらの現象については, 定量的にもかなり明らかにすることができた。しかし電波障害軽減の具体的な装置に関しては, 使用する部品の選定, 価格などまだ十分とは言えない。

*原稿受付 昭和55年3月24日 (昭和53年5月溶接アーク物理研究委員会にて発表)

**正 員 姫路工業大学 Member, Himeji Institute of Technology

***正 員 京都大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Kyoto University

そこで本報告では、アークの安定性が非常によく、また比較的实施容易な新しい軽減法が得られたので、その概要について述べる。この方法によれば、交流 TIG 溶接から発生する電波障害はかなり軽減し得ると思われる。

2. 市販実用機の漏洩電界強度測定

TIG 溶接に併用される高周波電圧は、火花式発振器により発生させているが、発振電圧は減衰振動波形で、間歇発振であるためパルス性が強く、広帯域周波数の高調波を含んでいる。したがって、実測される漏洩電波の電界強度分布も広帯域にわたっている。これら発振波形の周波数分析や、漏洩電波の減衰特性などについては、他の機会に詳しく述べる。

Fig. 1 は、交流 TIG 溶接から漏洩する電波の電界強度（準尖頭値）を測定したものの一例である⁹⁾。アルミニウム母材を用い、溶接電流 30 A の場合で、100 m の距離において測定した例である。TIG 溶接装置では、火花式高周波発振器から発生した高電圧は、数 m の溶接ケーブルを通して電極と母材間に印加される。そのためケーブルの長さや配置の状態によって、その浮遊容量やインダクタンスが異なり、高周波インピーダンスが変化する。また、火花間隙の調整や高周波接地の有無などによっても影響を受け、漏洩電界強度は複雑に変化する。したがって、Fig. 1 は一測定例に過ぎず、上記の種々の条件によって電界強度およびその分布は容易に変わりうる。

Fig. 1 Distribution of field intensity.

図中の CISPR（国際無線障害特別委員会）と記した線は、近く改訂が予想される漏洩電界強度の許容レベルであるが、この測定例のように、発振回路の共振周波数付近（約 2 MHz）で許容値を超過する場合がある。したがって、このような場合は何らかの通減対策が必要になるであろう。

3. 電波障害軽減方法

TIG 溶接では、溶接開始部のタングステン巻込みや、タングステン電極の異状消耗を避けるため、電極と母材の無接触によるアーク起動が要求される。したがって、溶接作業性を考慮すると、少なくとも 5 mm 以上の電極—母材間を火花破壊する電圧が必要であろう。そのためには尖頭値 5 kV 以上の高周波電圧が必要である。しかし、商用周波の溶接電流が流れ始めると、電極及びアーク柱は急速に温度上昇し、各半サイクルにおける再点弧電圧は次第に低下する。アーク電流が数サイクル流れた後には、再点弧の困難な RP 半波でも再点弧電圧が 300~500 V になる。したがって、アーク起動後は高周波発振電圧をアーク起動時の 1/10 以下に低下させてもよいはずである。

しかし、火花式発振器によって 300~500 V の高周波出力電圧を得るには困難を伴う。それは発振出力電圧が火花間隙の破壊電圧に依存し、この場合は間隙長が 0.1 mm 以下となって、その調整や維持が難しいからである。そこでこの程度の放電電圧をもつ安定な火花間隙を実現するには、例えばアルゴン気中に間隙を設ければよい。これはアルゴン気中の火花破壊電圧が、大気中の約 1/3 程度に下ること⁶⁾を利用するもので、間隙長が約 3 倍に大きくでき、またアルゴン気中であるため電極の消耗が少なく、間隙長の維持が容易になる¹⁾。しかし、数百 V 程度の再点弧電圧は、火花式発振器によらなくても、例えばサイリスタなどを用いて発生させたコンデンサの放電パルスのようなものでもよい²⁻⁴⁾。

以上述べたように、アークの起動後は火花式高周波発振器の出力電圧を数百 V に低下させるか、あるいは他の方法によって発生させたパルス電圧などにより、再点弧電圧を電極—母材間に供給し、アークを安定化することができる。また、数百 V 程度のパルス電圧に基づく高周波の漏洩電界強度は小さく、したがって、このような方法によれば、溶接中の電波障害は著しく小さくなる。

しかし、これらの方法には、とくに溶接電流が小さいとき次に述べるような問題点を生じる。

Fig. 2 は上に述べたように、アーク起動時と溶接時にそれぞれ必要な高周波電圧を得るようにした発振回路の例である¹⁾。G₁ は通常の発振器のように、数 kV の高電圧発生用の火花間隙であり、G₂ は数百 V の発振電圧が得られるように、アルゴン気中に設けた火花間隙である。アークが起動した後はスイッチ S を閉じ、火花放電を G₂ のみとして発振電圧を低下させる。S は高周波高電圧用の特殊なものにする必要がある。

Fig. 2 Improvement of spark gap to reduce the radio interferences.

いま, 火花間隙 G_2 による数百 V の低い高周波電圧により安定な溶接アークが持続しているとき, もし何かの原因で RP 半波の再点弧が一度失敗すると, アークが不安定になり始めることがある. この時, 直ちに S を開き, アーク起動時の高い高周波電圧を電極間に供給し, 再点弧が確実に起るようにしなければならない. しかし Fig. 2 に示すような方法では, S の動作時間のため直ちにこの高電圧に復帰させるのが難しく, 少なくとも商用周波の 1 サイクル以上の時間が必要である. したがって, この間にアークが著しく不安定になるか消失し易く, 溶接の続行が困難になることがある. 実験的には溶接電流が約 100 A 程度以上になると, このようにアークが不安定になることは少ない.

4. 電源電圧回復特性

現状の TIG 溶接装置では, 火花式高周波発振器の電源を, 溶接機の 2 次側に接続する方式のものが多い. よく知られているようにこの方式によると, 各 RP 半波の再点弧が確実にあれば, 高周波の発振はその半波の最初の 1 回のみである. しかし一方, RP 半波の再点弧位相 (高周波発振位相) が, 溶接機 2 次回復電圧によって決まるため, アークの安定性がこの回復特性によって大きい影響を受ける. すなわち, SP 半波の終了後から, 高周波の発振によって RP 半波が再点弧するまでの期間に, アーク柱は急速に冷却し, この期間が長いほど再点弧が困難になってくるからである.

次に, 再点弧時における電源電圧の回復は, 溶接機的设计方法にもよるが⁷⁾, 溶接機 2 次端子間に持続された通常クリーニングユニットと呼ばれているアーク安定用補助回路 (後掲 Fig. 6 の R_c と C_c の直列回路) の定数である抵抗値 R_c と, コンデンサ容量 C_c によって著しく影響を受ける. これは再点弧時の 2 次回復電圧によって, 補助回路のコンデンサが充電されるが, この充電電流による溶接機内部インピーダンスの電圧降下に基づくものである.

Fig. 3 は RP 半波の再点弧時における溶接機 2 次回復電圧が, 火花式発振器の発振開始電圧 V_2 に達するまでの時間 t_2 を測定したものの一例である. 通常の TIG 溶

Fig. 3 Recovering voltage characteristics of the welder in various constants of the auxiliary circuit for arc stabilizing.

接装置では, V_2 は 60~100 V であり, t_2 は 100~300 μ s である. 図から明らかなように, t_2 は補助回路定数の抵抗 R_c にはほとんど関係しないが, コンデンサ容量 C_c に著しく影響される. 例えば 2 μ F と 8 μ F では t_2 が約 100 μ s も異なる場合がある. したがって, C_c は必要以上に大きくすべきではない. また, 溶接電流 I_a によって溶接機の漏洩リアクタンスが変わるから, 図に示すように t_2 も変化する.

なお, Fig. 3 あるいは後掲 Fig. 4 の一部にみられるように, C_c の値によって回復時間 t_2 に対する R_c の依存度の傾向が多少異なっている. この理由は回復電圧波形が R_c , C_c によって影響を受けるためである. すなわち, t_2 は再点弧時における溶接機の内部等価インピーダンスと, R_c , C_c などの外部回路定数とによる過渡現象によって変化する. この内部インピーダンスは溶接機的设计方法によるのみならず, 同一機種でもアーク電流値や直流成分の大きさによっても変る. したがって, 再点弧時の過渡現象がこれらの要因によって影響され, Fig. 3 や Fig. 4 における程度の直線の傾斜は個々の場合で異なり, 普遍的なものではない.

Fig. 4 は Fig. 2 に示すような高周波発振回路のコンデンサ C_{HF} の回復時間 t_2 に及ぼす影響を示す. C_{HF} の容量は C_c に比較して遥かに小さいが, 昇圧変圧器を介して高電圧に充電されるので, 溶接機 2 次側に換算した等価容量は C_c と同程度になる. しかし, 補助回路の場合の C_c は R_c を通して充電されるが, この C_{HF} は昇圧変圧器の 1 次側 (溶接機 2 次側) 換算抵抗及びインダクタンスを通して充電され, そのインピーダンスは R_c に比較して大きい. したがって, 充電電流が小さくなって t_2 に及ぼす影響は少ない. しかし, 高周波の発振出力

Fig. 4 Recovering voltage characteristics of the welder in various constants of the auxiliary circuit for arc stabilizing.

は、 C_{HF} の充電エネルギーに比例すると考えられるので、電波障害を軽減するためにも C_{HF} の容量は必要以上に大きくすべきではない。

5. 電波障害軽減の新模式

3. で述べたように、アーク起動時と溶接時において、それぞれに必要な再点弧電圧を供給する方法によれば、併用高周波に基づく電波障害を著しく軽減し得る。また、これらの方法を実施する場合、とくに小アーク電流のとき機構上の問題が生ずることもすべて述べた。そこでここでは、この問題点を解消した電波障害軽減のための新方式について述べる⁸⁾。

いま、RP 半波における再点弧時の電極—母材間にかかる電圧及びアーク電流の関係を示すと Fig. 5 のようになる。

SP 半波のアーク電流 SPi_a が終了する時刻を時間の原点 0 とすれば、溶接機 2 次回復電圧 e_2 は図のように変化する。火花式発振回路のコンデンサは、この e_2 を昇圧した電圧で充電される。いま、発振器の火花間隙が破壊し、発振が開始するような e_2 の値を V_2 とし、その時刻を t_2 とすると、 t_2 から RP 半波の再点弧電流 RPi_a が流れ始める。

ここで、もし RP 半波の再点弧が、 V_2 より低い電圧 V_1 に対応する時刻 t_1 において起るとすれば、 e_2 は RP 半波のアーク電圧 RPV_a' に低下し、したがって、 e_2 は V_2 に達し得ないから高周波は発振しない。

Fig. 6 は試作回路の原理図である。点線で囲んだ部分は数百 V のパルス電圧を発生する回路である。パルス発生用コンデンサ C_p の充電電荷は、前述の t_1 におけるサイリスタ SCR のターン・オンにより、結合コイルの 1 次インダクタンス L_{p1} を通して放電する。したがって、コイルの 2 次側に誘導したパルス電圧が電極—

Fig. 5 Illustrative diagram of arc current and voltage wave forms at the reignition of a RP half-cycle by the circuit of Fig. 7.

Fig. 6 Schematic circuit diagram to reduce the radio interferences.

母材間に供給される。SCR のゲート信号は、溶接機 2 次回復電圧を検出して発生させるから、Fig. 5 に示すように、 $V_2 > V_1$ 、 $t_2 > t_1$ の関係は、 e_2 の回復特性には依存せず、必ず高周波の発振直前にパルスが発生する。

この試作回路を用いると、まず火花式高周波発振器 HFG によって発生した高電圧により、電極—母材間が絶縁破壊してアークが起動し、RP 半波の再点弧電圧がパルス電圧以下になり次第、再点弧位相は自動的にパルス電圧発生時刻 t_1 に移り、高周波の発振は停止する。また、3. で述べたように、溶接時に何かの原因により t_1 における低電圧のパルスによる再点弧が失敗しても、その直後の t_2 における通常の高周波電圧による再点弧形式に移行する。したがって、アーク起動時及び溶接時においても、高周波の発振期間は最小限に抑制される。

また、Fig. 5 に示したように、再点弧位相が通常の高周波による場合に比較して早くなるため、RP 半波のアーク電流が大きくなる。したがって、アーク電流の直流成分が減少すると共に、アークの安定性が非常によくなる。

実測では例えばアルミニウム母材でアーク電流 40 A (交流実効値) の場合、通常の高周波による再点弧では直流成分が約 9 A であったが、本方法で最適のパルス発生位相に調整したとき、約 6 A に減少した。

次に, SP 半波の終了後, 高周波の発生する時刻 t_2 は, 4. で述べたように溶接機の電圧回復速度によって変化するが, 通常の TIG 溶接装置では $100 \sim 300 \mu\text{S}$ 程度のものが多い。したがって, パルス発生時刻 t_1 は, この時刻よりも早くしなければならないが, 早いほど再点弧電圧 (パルス電圧) は小さくてよく, また RP 半波の電流が大きくなってアークはより安定になる。しかし, あまり早すぎるとパルス発生後の再点弧時に, 溶接機の電圧回復特性によってアーク安定用補助回路のコンデンサの充電電圧が低く, その放電電流が小さくなって再点弧不可能となる^{2,3)}。したがって, 補助回路定数のえらび方にも関係があり, t_1 を厳密に設定することは困難である。しかし, 実用的には t_2 より数十 μS 程度小さくなるようにしておけば十分である。

Fig. 7 (a), (b) は, 再点弧時の電流波形を示すもので, (a) は t_1 におけるパルス電圧によって再点弧している。(b) は t_1 における再点弧が失敗するよう, 故意に t_1 を早めた場合の例で, t_2 における通常の高周波電圧によって再点弧している。

Fig. 7 Typical oscillograms of arc current at the instant of reignition of a RP half-cycle when the circuit of Fig. 6 is used.

Fig. 8 は溶接時のアーク長 L を変化した場合, 再点弧可能なパルス電圧の最小値を求めたものである。ただし, 溶接条件はアルミニウム母材で, アーク電流 50 A の場合の例である。Fig. 5 で示したように, パルス電圧は再点弧時の溶接機回復電圧に加わって電極-母材間に印加される。したがって, アーク起動の $1 \sim 2$ 秒後では, 再点弧に必要なパルス電圧は 200 V 程度で十分である。しかし, アーク起動時の高周波高電圧の発生期間を極力短くするために, 実用的には $300 \sim 500 \text{ V}$ のパルス電圧が必要である。

Fig. 9 は Fig. 6 の試作回路を使用したとき, アーク起動時の高周波発生時間, すなわち高周波高電圧による再

Fig. 8 Relation between the minimum restriking pulse voltage and the arc length.

Fig. 9 Relation between the establishing time of welding arc and the arc length.

点弧形式から, 数百 V のパルス電圧による再点弧形式に移行するまでの時間 t の, アーク長 L による影響を測定したものの一例である。ただし, 母材はアルミニウムである。各測定値は約 20 回程度の平均値であるが, アーク起動時の電極-母材間距離を実用的に $5 \sim 6 \text{ mm}$ とすれば, 高周波の発生時間は 100 mS 以下となる。したがって, アーク起動時も含めた併用高周波電源に基づく電波障害は著しく軽減される。

この電波障害軽減方法を実施した場合の効果について, 携帯用の中・短波ラジオ受信器による比較では, 著しく雑音の小さくなるのが認められた。これは Fig. 2 に示したような方法で, 火花式高周波発振器の発振出力を低下させたとき, その漏洩電界強度が著しく小さくなる測定結果¹⁾ から予期しうるものである。しかし, 高周波電流波形が異なると, それぞれの漏洩電界強度のスペクトル分布や減衰特性が変化するので, 今後さらに詳細な検討が必要である。

次に, 上に述べた方式は, 試作回路 Fig. 6 に示したように, 従来のような火花式発振器とコンデンサの放電パルス電圧を併用するものであるが, パルス電圧源を低

電圧の高周波を発生しうる火花式発振器に置き代えても、Fig. 5 に示した再点弧時の動作は全く同じである。すでに 3. で述べたように、火花間隙をアルゴン気中に設ければ、数百 V 程度の高周波電圧を容易に発生できるから、この実施は可能である。

6. む す び

交流 TIG 溶接装置の併用高周波電源は、アーク起動時に必要な高電圧や価格などを考慮すると、現状では火花式発振器にならざるを得ないと思われる。したがって、広帯域にわたる送受信設備への電波障害は避けられない。しかし、本報告で述べたように、従来の火花式発振器と低電圧の高周波またはパルス電圧を併用する方式は、高周波高電圧の発生が最小限になるように自動的に制御されるから、これに基づく電波障害は著しく小さくなる。したがって、回路構成部品なども考慮すれば、現

時点では実施可能な最善の電波障害軽減法の 1 つであると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 浮田, 信原; TIG 溶接用高周波発生装置ならびに電波障害軽減に関する調査研究, 日本溶接協会電気溶接機部会総合技術委員会資料 No. 219 (1964)
- 2) 信原, 窪田; TIG 溶接の電波障害軽減とアークの安定化, 本誌, 43-3 (1974) 296-301
- 3) 信原, 窪田, 浮田; 方形波パルスによる交流 TIG 溶接アークの再点弧現象 (I), 本誌, 46-4 (1977) 208-213
- 4) 信原, 窪田, 浮田; 方形波パルスによる交流 TIG 溶接アークの再点弧現象 (I) 本誌, 46-7 (1977) 444-449
- 5) 信原, 窪田; 交流 TIG 溶接アークの再点弧現象について, 溶接学会アーク物理研究委員会資料 No. 76-296 (1976)
- 6) 浮田, 信原; 高周波併用電弧溶接に関する基礎的実験について, 本誌, 27-6 (1958) 327-330
- 7) 安藤, 西口; アーク溶接機器, 産報, (1966) 172
- 8) 信原; TIG 溶接の電波障害軽減に関する新方式, 溶接学会アーク物理研究委員会資料, No. 79-405 (1979)
- 9) 西川, 信原, 天沼; 高周波併用 TIG アーク溶接機による妨害電波の電界強度についての調査, 日本溶接協会電気溶接機部会技術委員会資料 EW-15-281 (1980)

(16頁から続く)

論文募集: ① 1981年1月1日までにアブストラクト1枚 (良質ボンド紙 15cm×23cm 以内にシングルスペースでタイプのこと。著者が複数の場合は提出者にアンダーラインをする。) 前刷りされる。

② 1981年2月末までに出筆要領が著者へ送付される。

③ 1981年5月15日までに全論文 (150語以内の概要で, 4ページ以内) 及びその写しを送付する。(招待論文は8ページ以内。)

会議用語: 英語

展示会: 会議関連の展示会が行われる, 会期中金属接合に関する装置展示または案内スタンドを利用する場合には1981年3月15日までに "JOM-1's Secretariat" 宛申込むこと。

プロシーディングス: 招待及び投稿論文 (計1冊) が会場で配布される。

宿泊: 主催者が世話をする。シングル (シャワー, トイレ付, 3食付): 約65米ドル。1981年4月30日までに予約のこと。

登録: 125米ドル (アブストラクト集, プロシーディングス及び8月11日のビュッフェ・ディナーを含む。)。申込期限は同上。

申込連絡先: JOM-1 Secretariat Helsingør Teknikum
Rs. Knudsenvej 50 DK-3000 Helsingør Denmark

※論文提出等参加申込詳細については当会事務局まで申し込み下さい。(担当, 鈴木)