

=ティグ溶接に関する「アークの物理」(8)

.....溶接学会論文集に見るタングステン電極の特性比較試験(その1) =

前話に引き続いて、本話では 1980 年代後半に、大阪大学の諸先生方が中心となって進められ、溶接学会論文集に発表された論文*1) および 1990 年代半ばにアーク物理委員会で編纂された教本*2)「溶接プロセスの物理」をそれぞれ参考にさせていただき、タングステン電極への理解を助け、深めることができる内容を筆者の判断で、選定・引用し、紹介させていただきます。

ティグ溶接とその技術に携わるものにとって、これらのタングステン電極の諸特性を理解しておくことは溶接工程の立ち上げ、生産性、設備維持、および溶接品質の確保の観点からみて極めて大切な内容であると考えられるからです。

1. はじめに

教本*2)の「GTAのタングステン陰極現象」には次のように記されている。

.....アーク放電用の電極に要求される条件として、広範囲の電流にわたって十分な電子放出を行なうことができる電極(熱陰極)であることが基本である。

アークの熱陰極では通常 $10^6 \sim 10^8 \text{ A/m}^2$ の陰極電流密度が必要と考えられており、その動作温度は電極端部で $3,000 \text{ K}$ 以上のかなりの高温になる。

実用的には、長時間の使用にも耐えるような電極形状の変化や消耗の少ない電極が望まれる。

この電流密度の殆どを熱電子放出でまかなうとすれば、どのような物質においてそれが可能となるであろうか？

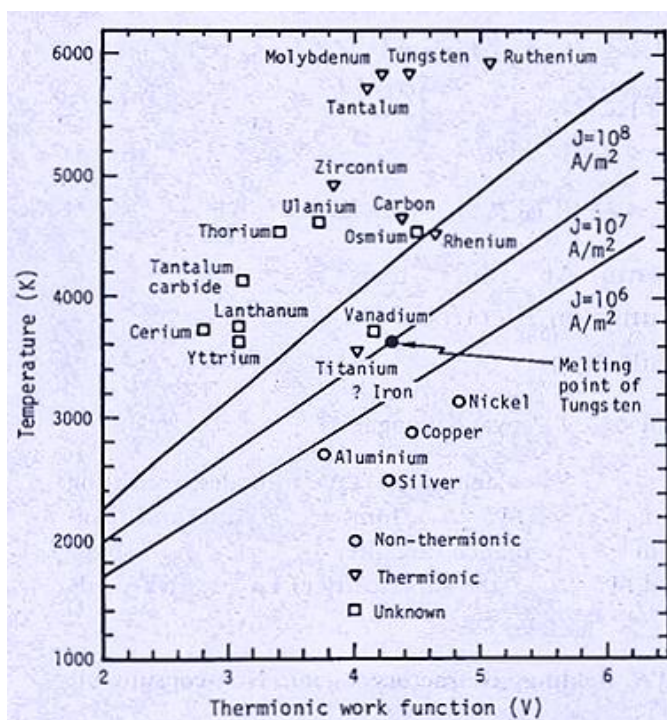


図 221-01 種々の物質の仕事関数と沸点の関係

図 221-01 は、これを相補的に説明する図である。

仕事関数-温度面上で、この電流密度をそれぞれ 10^6 、 10^7 、 10^8 A/m^2 とする三本の曲線を描き、その上に種々の物質の沸点と仕事関数を重ねると図 221-01 になる。例えば、Cu では、陰極電流密度 10^8 A/m^2 を得るためには沸点以上の陰極動作温度が必要とされるので、熱陰極になり得ないことが推定される。

一方、タングステンのような高沸点材料でさえ必要な陰極放出電子流密度を得るためには融点近傍あるいはそれ以上の温度が必要とされる事もわかる。また、仕事関数の低い物質ほど、必要とされる陰極動作温度が低いことが示されている。

*****参考文献*****

*1) ; ガス・タングステン・アーク電極の研究(1) Vol.6 No.2 1988 5月号 p 3~8 溶接学会論文集 ;

松田福久 (大阪大学), 牛尾誠夫 (大阪大学), 熊谷達也 (大阪大学)

*2) ; 「溶接プロセスの物理」P89 (一社) 溶接学会 溶接アーク物理研究委員会

なお、仕事関数という用語は、タングステン電極のはたらきを理解する上でキーワードであり、次のように説明されている。

仕事関数とは、金属内部の電子をアーク空間に引き出すために必要な仕事量（エネルギー）を電圧に換算したもので、金属の種類や表面の性状によって異なるが、2～4 V程度である。すなわち、1 個の電子が有する電荷量は $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ （クーロン）なので、仕事関数が 4 V の場合、 $6.4 \times 10^{-19} \text{J}$ （ジュール）のエネルギーが必要になる。

要するに、**酸化物入りタングステン電極**では含有された酸化物（最近では**電子エミッター**と呼ばれる）が陰極表面の仕事関数を下げるように働くため、**図 221-01** にみるように電極動作温度が低くなり、電極先端の温度の高いところも溶融せず、動作中でももとの形状を保つことができる。

しかも酸化されることによってその性質が大きく変化しない物質を添加することによって実効的な仕事関数を低下させた電極が最も有効であると考えられる。

2. タングステン電極の実用化のための特性比較実験の概要*1)

2-1) 比較実験に供されたタングステン電極

試作した各種タングステン電極を**表 221-01** に示す。電極径は 1.6, 2.4, および 3.2mm の三種で先端形状は主として 45° に研磨して用いている。

2-2) 比較試験項目

実施された各種タングステン電極におけるアーク特性の比較試験項目は、以下の 5 項目。

①電流・電圧特性 **②アーク起動性** **③アーク圧力** **④電極溶断現象** **⑤アーク放電と電極先端部の変化**

2-3) 特性比較実験の各結果

① 電流・電圧特性

測定されたアークの電流電圧特性の例を**図 221-02** に示す。陽極は水冷銅板。

- ア) 容易に予想されるように純タングステン (P-W) 電極と酸化物入りタングステン電極では明らかに異なっている。
- イ) P-W 電極は、低電流域で他の電極と比べ非常に高い電圧を有する。一方、他の二元系の酸化物

入りタングステン電極は 50A より高い電流域で P-W 電極より若干低い値を示し、正抵抗特性を有する。

- ウ) また、三元系電極は、二元系電極と同様の傾向を示している。

- エ) ジルコニア入りタングステン (ZrO₂-W) や P-W では、測定中の電極の溶融変形が著しく誤差が大きくなる。

<筆者コメント>

- 一般的に GMA と比べ GTA の場合は電圧計による測定監視は少ない。しかし、本特性試験でもトップに電流・電圧特性が検討されていることは、それだけ基本をなすと考えられる。よってお客様のティグ溶接設備においても、電圧計を取り付け、常時監視することは電極などの変形に伴う変化などをキャッチするためにもとりわけ重要であると考えます。

表 221-01 供試タングステン電極の酸化物組成と含有率

Electrode material and oxide content			
Pure - W		(Ternary)	
(Binary)		La ₂ O ₃ -Y ₂ O ₃ - W	1 - 1 (%)
ThO ₂ - W	2 (%)	La ₂ O ₃ -Y ₂ O ₃ - W	1.5-0.5
MgO - W	2	La ₂ O ₃ -Y ₂ O ₃ - W	0.5-1.5
ZrO - W	2	La ₂ O ₃ -CeO ₂ - W	1 - 1
ThO ₂ - W	2	Y ₂ O ₃ -CeO ₂ - W	1 - 1
La ₂ O ₃ - W	1, 2	Y ₂ O ₃ -CeO ₂ - W	1.5-0.5
Y ₂ O ₃ - W	2, 3	Y ₂ O ₃ -CeO ₂ - W	0.5-1.5
CeO ₂ - W	2		

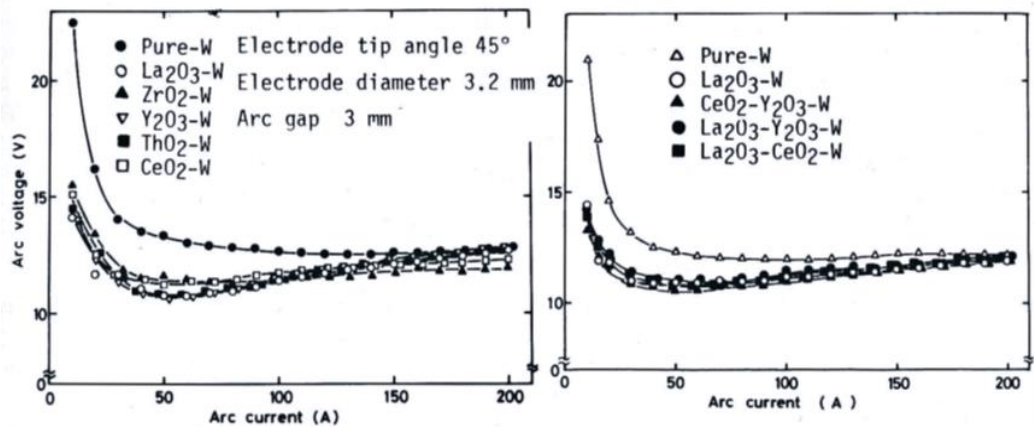


図 221-02 各種タングステン電極における電圧・電流特性

②アーク起動性

ア) 点弧の容易さを評価する方法として、はじめに高周波点弧による点弧可能な最小の開路電圧（無負荷電圧）の比較検討による評価がなされた。ここでは紙数に制限があり省略し、結果のみ以下に記します。

- P-W と MgO（2%）-W のアーク起動性が明らかに劣っている。
- 二元系電極の中で最も優れたアーク起動性を持っている電極は La₂O₃（2%）-W である。
- さらに、三元系電極に注目してみると、若干の差はあるもののアークの起動回数は、La₂O₃（2%）-W とほぼ同程度であるとみなすことができる。

イ) 他の評価方法；

「1秒間の点弧、15秒間の休止というサイクルを100回連続して繰り返し、高周波のスイッチオン後正常アーク放電に移行するまでの時間の測定」を行ないその分布を検討。

- 溶接電源；市販のインバータ TIG 電源
無負荷電圧；90 V
アーク電流；30 A
- 評価方法；1秒経過してもなお正常アークに移行しない場合はNGとして処理

ウ) 評価結果；

図 211-03 にその結果を示すが、La₂O₃-Y₂O₃-W 系がやや良好な特性を示している。しかし、多数回起動に伴うアーク起動性の劣化は全ての電極で多少とも生じており、それらは NG の回数に表れている。

<筆者コメント>

- 酸化物の種類にかかわらず、劣化は生ずることを認識しつつ、1980年代後半のインバータ機と違って、最新のインバータ機によるアーク起動性の改善効果にも期待したい。

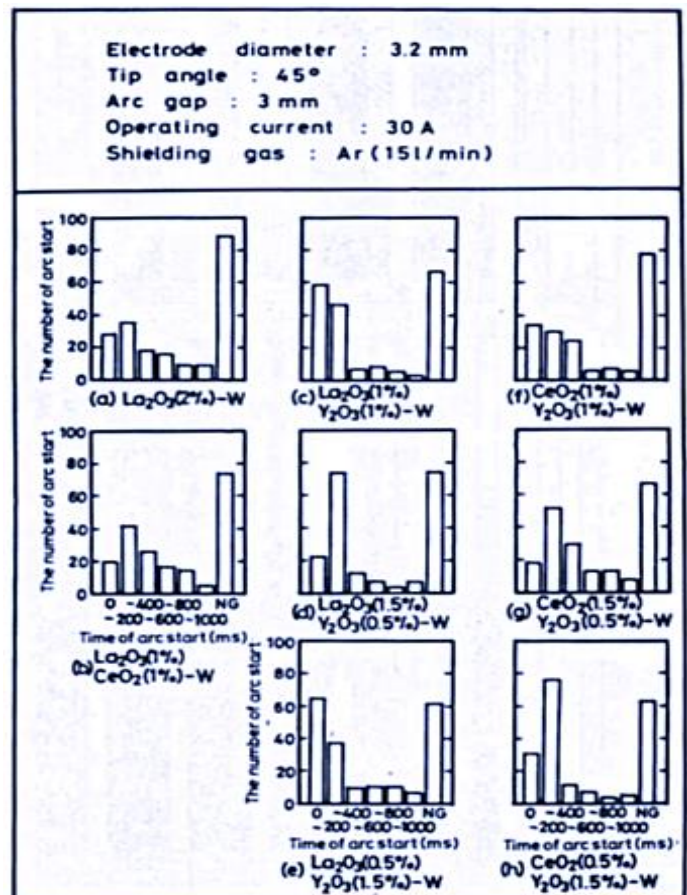


図 221-03 反復アーク起動試験により得られたアーク起動特性

③アーク圧力

ア) アーク圧力の測定概要；

アーク特性のなかでアーク圧力は必須の項目です。各電極について、先端角を45度に研磨し、半導体圧力変換器を1mmΦの小孔の有する水冷銅陽極に取り付け、陽極間のアーク圧力を測定。

イ) 測定結果；

結果を図221-04に示す。いずれも、ほぼガウス分布に近い曲線を示すが、P-W、ZrO₂-Wが全体的に低い圧力を示す。また、Y₂O₃(2%)-W、CeO₂(1%)-W、La₂O₃(2%)-Wは、ほぼ同程度のアーク圧力を示しているが、ThO₂(2%)-Wは、それらよりやや低い値を示している。

さらに三元系電極のアーク圧力は、La₂O₃(2%)-Wのものと同程度である。

ウ) 図221-05に電極先端形状とアーク圧力の関係を示す。先端を少し切り落としただけで、アーク圧力が非常に減少することがわかる。たとえば、先端のフラットな部分を1mmΦにするだけで、アーク圧力がおよそ50%減少している。

したがって、図221-04でP-W電極での圧力が低くなるのは、電極先端部の溶融変形によって先端形状が平坦に近づいたことが主要因であると考えられる。

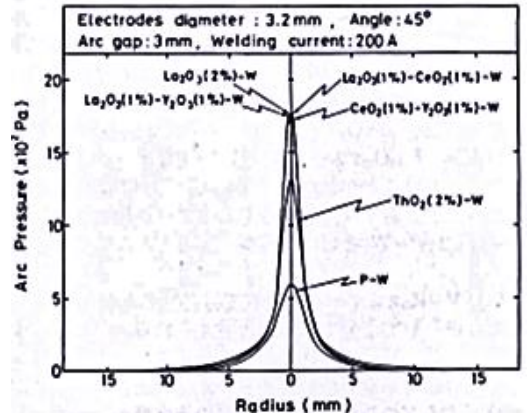


図 221-04 陽極におけるアーク圧力分布

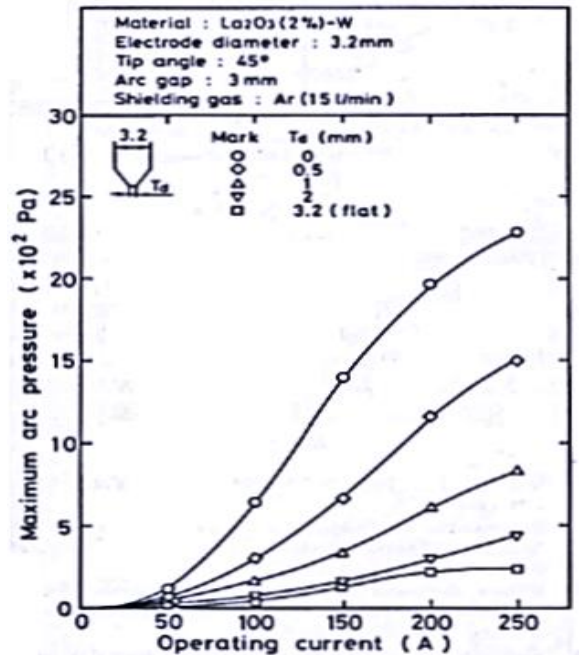


図 221-05 最大アーク圧力に及ぼす電極先端径の影響 (アルゴンガス雰囲気)

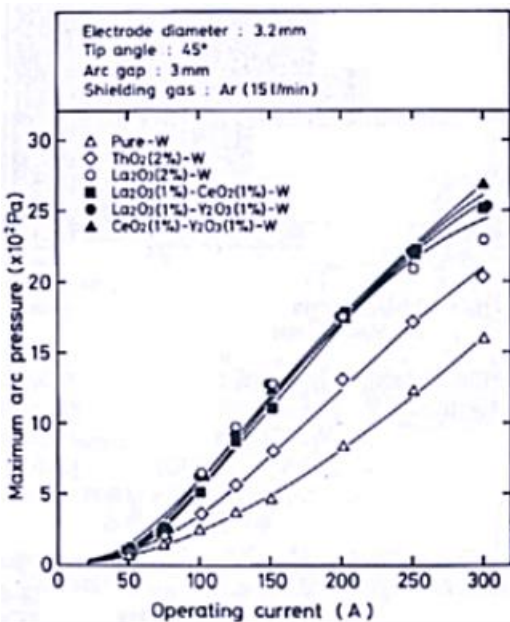


図 221-06 各タングステン電極における最大アーク圧力と溶接電流の関係

エ) 図221-06に、アーク圧力の電流依存性を示す。さきに、図221-04で示したY₂O₃(2%)-W、CeO₂(1%)-W、La₂O₃(2%)-Wおよび三元系電極とY₂O₃-Wのアーク圧力の差異は、電流値が150A以上ではっきりと認められ、電流値の増加とともに差が広がっている。

■ さらに、P-W電極は75Aあたりからすでに酸化物入り電極よりも低い値を示し、300AではLa₂O₃などの電極に比べておよそ半分の圧力値になっている。

<筆者コメント>

■ 上記のようなアーク特性—アーク圧力に対するデータとコメントは、ティグ溶接に係るものにとって大変貴重と考えます。

次話も引き続き、特性試験(その2)として紹介を続けます。以上。