

論文

極細シースK熱電対の高温特性

尾出 順^{*1)} 童子俊一^{*2)} 小川実吉^{*3)}

High temperature characteristics of the ultra fine mineral insulated type K thermocouples

Jun ODE, Shunichi DOUJI and Miyoshi OGAWA

Abstract Trial manufacture of the ultra fine diameter and long length type K mineral insulated thermocouples(outer diameter 0.25mm and 0.3mm,length 2000mm and 3000mm) is made of laser welding method, And it evaluated of the high temperature characteristics . The high temperature characteristics is the continuation heating of 1000 hours at the 600 , and the stability test which implemented 10 hours heating and repeatedly 10 times at the 600 and shunt error test. The drift of thermal emf in all test was the within permitted limit.

Keywords Ultra fine diameter, Laser welding method, Mineral insulated thermocouple

1.はじめに

最近、高速応答や微小物体等の温度計測に適用できる温度センサとして、長尺の極細のシースK熱電対の実用化への期待がある。極細シース熱電対は、測温接点の加工方法の問題や規格化された熱電対と異なり、特性や信頼性が十分に保証されていない等の問題がある。実用化の指標となるJIS C1605(シース熱電対)⁽¹⁾の規定でもシース外径は0.5mmまでであり、今回に実験で取り上げたシース外径が0.25及び0.3mmのシース熱電対の特性の評価が求められている。

シース外径が0.5mmと比較して面積比で1/4と細く、これまで計測不可能な環境での利用が考えられるため、従来品との諸特性の差を明らかにする必要がある。

そこで、試作した極細シースK熱電対の高温耐久性、中間温度の影響、高温安定度特性の実験結果について報告する。

2. 測温接点の作成

シースK熱電対の測温接点は、これまで顕微鏡観察下においてTIG溶接により作成されていた。しかしアースを必要とするため、作成するシース長さはシース自体の抵抗に依存していた。特に極細シースは抵抗が大きくな

るため200mm程度が限界で、また溶接時でのスパーク状態がシース長さ、太さ、アースクリップの強度等により異なり、均一な測温接点作成が困難であった。

長尺のシース熱電対の作成と測温接点の均一化への生産技術の開発においてYAGレーザを利用したシステムについて検討し、これにより長尺(1000mm, 2000mm, 3000mm)の試作品を完成した。測温接点の構造はX線透過検査装置により評価し、所定の形状、寸法であることを確認した。

従来からのTIG溶接でシース熱電対の測温接点を作成する場合、機種によって若干異なるが外部抵抗が約80

相当のシース長が限界であり、シース外径0.5mmで120 /m, 0.3mmで440 /m, 0.25mmで500 /mである

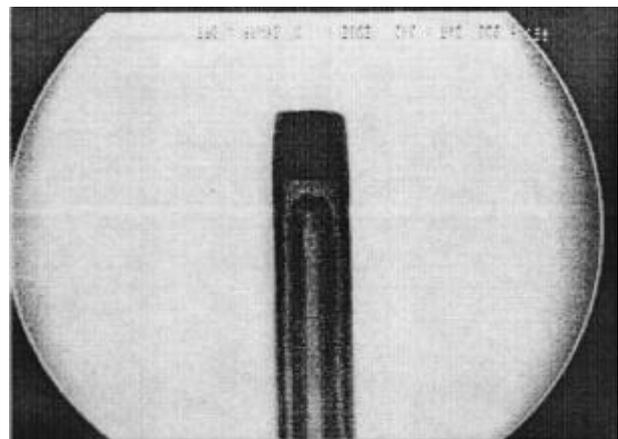


写真1 極細シースK熱電対のX線写真

*1)技術評価室 *2)(株)日本熱電機製作所

*3)(株)横河総合研究所

ため、数mの長尺のシース熱電対の作成は困難であった。

特に、長尺極細シース熱電対の開発には組立加工技術の確立が重要である。測温接点およびシース封止加工の良否が性能に影響するため、極細のシース外径の加工は、超微細技術が要求され、従来技術では限界があった。

そこで、最初にシース長さの制約を解除するために溶接時にアースを必要としないレーザ溶接法による温接点接合技術の確立を目指した。レーザ溶接法は数値制御による均一なエネルギーを照射するため、均質の温接点を作成できる可能性があるが、試料が極細のため、レーザパワーの最適制御及び専用治具の開発等の課題がある。

今回、測温接点の作成に用いた溶接器はYAGレーザにCCDカメラを組み合わせた構造で、極細シース線を開発した専用治具に設置して、測温接点部の状態をモニターにより観察することが出来る。

使用したYAGレーザ光はスペクトル幅の狭い単色光であり、指向性に優れ、コヒーレントな光波である。そしてYAGレーザ光線による加工は非接触のため加工物に歪みを与えない、超微細加工が可能である等の特長を持つことから極細シース熱電対の測温接点加工に適していると判断した。

写真1に試作した極細シースK熱電対の測温接点部のX線写真を示す。このように測温接点安定して作成出来るまで、試料の位置決めとレーザの照射条件を数十通り変えて実施し、それぞれの照射条件で測温接点部のX線写真を撮影し、均質な測温接点を加工できるレーザパワーの最適条件を求めた。

3. 極細シースK熱電対の評価試験

3.1 高温耐久性試験

本試験では、長時間加熱での高温度領域における耐久性について実験を行った。JISでの常用限度は、シース外径毎に規定しており、0.5mmでは600である。試作品のシース外径は0.25mmと0.3mmなので該当する規定がないため、JISのシース外径0.5mmの常用限度の600を適用した。試験に用いた試料を表1に示す。

表1 高温耐久性試験に用いた試料

シース外径(mm)	シース長さ(mm)	本数
0.25	1000	3
0.25	2000	3
0.3	1000	3
0.3	2000	3

試験は、6穴のアルミナ絶縁管(8mm×600mm)2本に、シース熱電対をシース外径別にそれぞれ6本ずつ挿

入した。これを熱電対自動校正装置により標準R熱電対との比較による比較校正を最初に実施した。⁽²⁾その後、3ゾーン方式の電気炉を600に制御し、炉内に先端部から400mm挿入し、100時間連続加熱し校正するというサイクルを10回実施し、計1000時間の暴露試験を実施した。

3.2 中間温度の影響(シャントエラー)

シースK熱電対では、測温接点以外の中間部分が高温度に曝されると熱電対素線間に充填された絶縁物の絶縁抵抗が低下し、漏れ電流により誤差が生じる現象がある。この現象を中間温度の影響またはシャントエラーという。熱電対素線間隔はシース外径に比例して微小となり、特に極細シースでは絶縁層の厚みが薄いためシャントエラーが起き易いと考えられる。そのためシース中間部の温度を変化させた時の影響の度合いを実験的に求めた。

実験では長さ3000mmのシースK熱電対の先端部100mmを600に制御したDry-Well内に挿入し、シース中間部1200mmを輪形にして炉上部の穴からマッフル炉内に入れ耐熱ガラスウールで封止した。このマッフル炉の温度を300から100ステップで800まで20分間隔で増加させた時の極細シースK熱電対の出力をデジタル電圧計で測定した。

3.3 高温安定度試験

極細シースK熱電対を実際に使用する場合、研究開発における各種の温度特性計測用として用いられる場合が多いものと想定される。この場合、実働時間だけ使用するものとして試験条件を設定した。

試験用電気炉の温度を600に設定する。この中に表2に示す供試品の極細シースK熱電対を8本挿入して電気炉の電源を入れ、約30分で設定温度に到達させる。この状態を10時間保持するとタイマーがOFFする。電気炉の電源がOFF後、翌朝まで自然放冷する。このサイクルを10回実施した。供試品の安定度評価は試験前後において、600で校正し、この前後での校正値の差を求めた。

表2 高温安定度試験に用いた試料

シース外径(mm)	シース長さ(mm)	本数
0.25	2000	2
0.25	3000	2
0.3	2000	2
0.3	3000	2

4. 実験結果

4.1 高温耐久性試験

図1に高温耐久性試験の結果を示す。図の特性値はシース外径0.25mmと0.3mmの試料各6本の平均値で示す。校正は100時間間隔で実施し、初期的な熱起電力はシース外径0.3mmが低く、加熱時での熱起電力の変動もシース外径0.25mmと比較し大きかったが、熱起電力特性は一義的にはシースケーブルで決まるので、0.25mmのロットが優れていたことになる。この結果からシース外径0.5mmでの常用限度の温度に対して、シース外径0.25mm, 0.3mm共に耐久性を有していると言える。

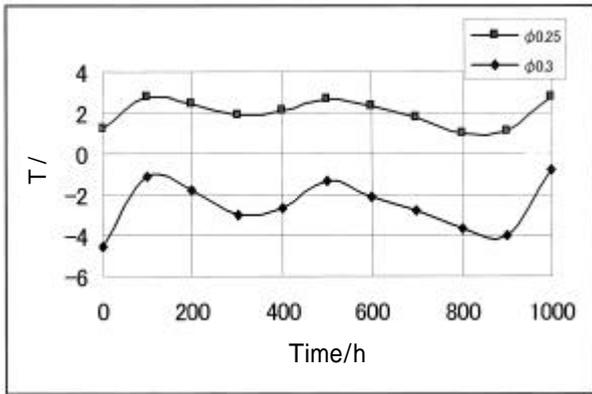


図1 高温耐久性試験の結果

4.2 中間温度の影響 (シャントエラー)

図2に中間温度の影響を示す。図からT1はシースK熱電対の测温接点の温度、T2は中間温度を示している。中間温度が测温接点温度を超えると徐々に影響が出はじめ、中間温度が800で测温接点部の温度が約1上昇した。長尺の極細シースK熱電対を使用し、高温のトンネル炉内での温度特性試験などで、被測定物の温度を正確に測定する場合等には注意が必要となる。

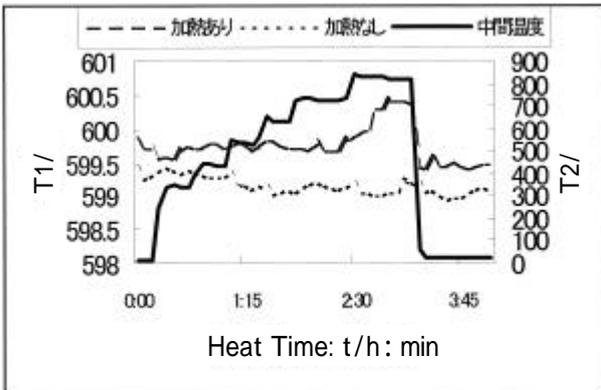


図2 中間温度の影響

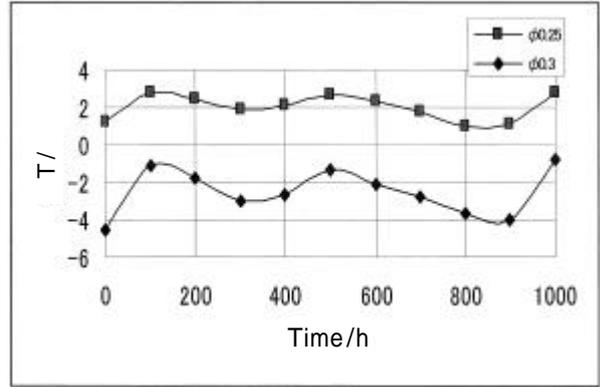


図3 高温安定度試験での加熱時での示度値

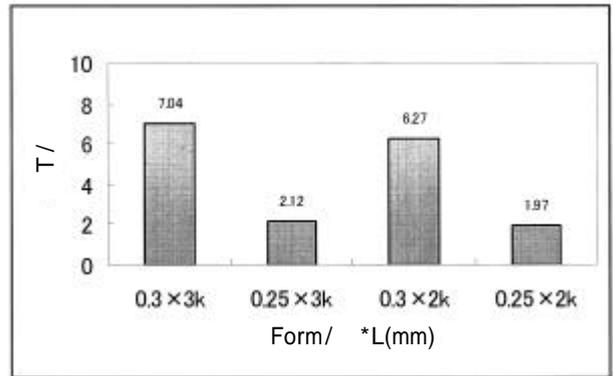


図4 高温加熱試験前後における校正値の差

4.3 高温安定度試験

図3は高温安定度試験でのシース外径0.25mmと0.3mmのシースK熱電対の示度値を示している。高温耐久性試験の結果と同様に、シース外径0.3mmの熱起電力が低いが、シースケーブルのロットの問題と考える。

また、本試験は温度サイクル試験に近い形で電気炉温度を上昇、下降させているために高温耐久性試験と比較して熱起電力の変動がシース外径0.3mmで約2低く、シース外径0.25mmは同一であった。図4は加熱前後での校正値の変化で、各4本の平均でシース外径0.25mmが+2.1、シース外径0.3mmが+6.7であった。

5. 測定の不確かさ

高温耐久試験、高温安定度試験での極細シースK熱電対の校正値は熱電対自動校正装置⁽²⁾を用いて標準R熱電対との比較校正により求めた。比較校正における不確かさの要因とその値を表3のように評価した。

この値の2乗和の平方根が合成標準不確かさで、これに包含係数(K=2)を乗じた値が、拡張不確かさである。

表3. 不確かさの要因とその値

不確かさの要因	要因の値(μV)
標準R熱電対	10
極細シースK熱電対	40
冷接点補償	0.25
スキャナの熱起電力	2
デジタル電圧計	2
補償導線	5
電気炉の安定度, 温度分布	5
合成標準不確かさ	41.93
拡張不確かさ(K=2)	83.86

表3から合成標準不確かさは約42 μV であり, 拡張不確かさ(K=2)は約90 μV (温度換算で約2.3)である。これから評価試験での校正値は約2.3の不確かさを持つ。

6. 応答特性

極細シースK熱電対は高速応答であると考えられることから, 次のような方法で応答時間を測定した。

試験条件は外径0.25mmの極細シースK熱電対を室温から約90の温水に瞬時に挿入した時の応答とした。

基本的には手動で挿入する時間を評価し, この時間分を補正する必要があるが評価が難しいため, ここでは挿入から100%応答までの時間測定とした。

試料の温水への挿入前後での温度差は約65, 電圧換算では約2.7mVと信号レベルとしては低いため, 極細シース熱電対を冷接点(0)に接続後の信号を1000倍増幅し, この出力を1.5GHzオシロスコープに入力した。トリガをかける温度を25としたため, 室温の変動を避けるために23に制御した恒温恒湿室で測定した。図5

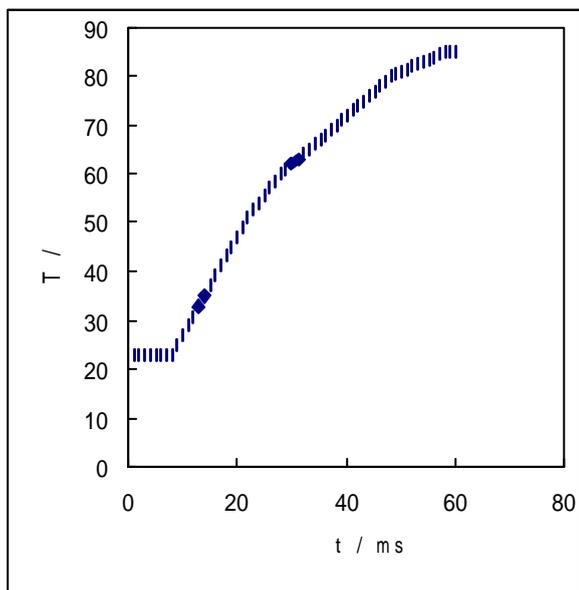


図5 応答特性

に応答特性を示す。

図5から50%応答で約20ms, 63.2%応答で約25ms程度と考えられ, 手動での挿入時間分を差し引くともう少し早いものと推察できる。これからも非常に熱平衡の優れた, 高速応答の温度センサであると言える。

7. 極細シースK熱電対での測定

シース外径0.25mmの極細シースK熱電対を実際の温度計測に応用した例を示す。図6は電流通電用(銅製)のバーにDC30Aを通電した時の電流端子部の表面温度の上昇特性の測定をシース外径0.5mmと比較した例である。室温(29)からの温度上昇は約25で, 熱平衡性に優れたシース外径0.25mmが定常状態で0.5高く表示し, より真値に近い温度測定を実現することが出来る。

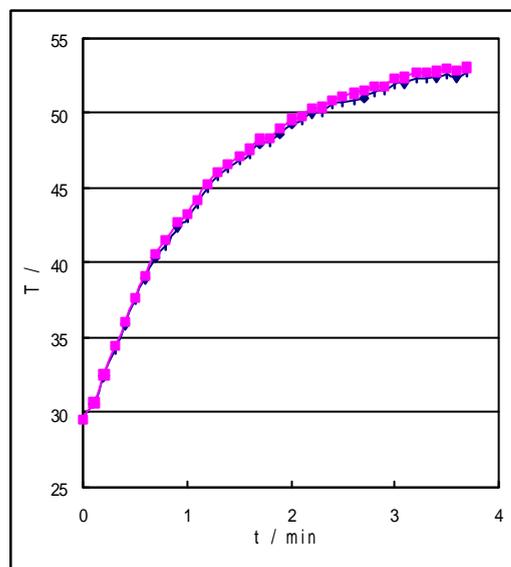


図6 シース外径0.25mmでの測定例

8. まとめ

従来のTIG溶接による測温接点の製作からYAGレーザーによる方法に転換して, 長尺のシースK熱電対を試作した。そして試作した極細シースK熱電対について3種類の性能評価実験を行った結果, すべての実験でほぼ良好な特性を示した。この極細シース熱電対は測定対象物への熱負荷が小さいため, 高速で正確な温度計測が実現できる可能性が広がり, 産業界の各所での利用が期待できる。しかし, 極細であるため使用方法によっては断線する可能性もあり, 注意深い取り扱いが必要となる。

参考文献

- 1) 日本規格協会, JIS C1605 (シース熱電対)
- 2) 尾出順, 原田富美雄, 坂田潤, グラフィカルな計測環境における熱電対自動校正装置, 計測自動制御学会, 第37回学術講演会予稿集(1997).

(原稿受付 平成12年8月9日)