

アーク加熱の基礎と応用 (4)

南條敏夫 (なんじょう としお) 電炉コンサルタント

4. アーク加熱の基礎

4.1 アーク加熱と抵抗加熱の比較

アーク加熱は、一般抵抗加熱と同様、直接通電加熱に属する。この場合、発生熱量 P [W] は、電流を I [A]、導体抵抗を R [Ω] とすれば、 $P=I^2R$ で示される。これが抵抗加熱の基本式である。

アーク加熱を身近なものにするため、一般抵抗加熱と比較しながら、共通点と相違点を明らかにする。

(1) 金属抵抗加熱

始めに、金属抵抗体に電流を流したときの発熱を物理現象として考える。

通常、電子は金属を構成する原子の原子核に束縛され核周辺の軌道を回っている。金属内部では無数の原子が空間格子を形成しており、原子核の束縛から離れて原子の間を自由に振動しているいわゆる自由電子がある。この自由電子の数は金属導体の中では特に多く、 1m^3 当り 10^{28} 個に達する。自由電子は導体内で熱運動をしており、電子同士あるいは格子電子・イオンなどと衝突を繰り返しながら平衡状態を保っている。

いま、導体の両端子間に電位差を与え、金属内に電界を作れば、電子には電界の方向(すなわち \oplus の方向)に加速する力が作用する。その結果、電子は周囲の粒子と激しく衝突し方向を変えながら、電界の方向に移動していく。電子の電界方向への流れ易さを移動度と呼び、移動度が大きいことは電気抵抗が低く、電流が流れやすいことを示す。

電界からエネルギーを得た電子は、電子同士及び格子電子などと衝突するとき熱を発生し、温度が上がる。一定断面積に流れる電流を増やせば発熱が増え、導体温度が上昇することは電子の移動を考えると理解しやすい。また、一般的に導体温度が上がると、各原子の熱振動が激しくなり、電子の運動を妨げる度合いが多くなり、抵抗が増える。

金属導体の場合は、通電加熱で発生できる温度に上限があり、融点を越えることはできない。

(2) アーク加熱

アーク加熱の場合も、電子が加熱の主役であることに変わりなく、すでに述べたアークの電極現象を除きアーク柱(アークプラズマ)だけに着目すれば、金属抵抗加熱と本質的な違いはない。陰極から放出されたほぼ全アーク電流に近い量の電子流は、電界によって加速され、その過程で気体分子と衝突しエネルギーが与えられることにより、気体分子の温度は上昇する。その結果、気体分子は熱電離を起こし、電子と陽イオンに分かれる。

アーク柱内では、電子と陽イオンはほとんど等しい密度で存在しているため、電子の空間電荷は打ち消され、比較的小さい電界で所要の電子流が流せる。

電子と陽イオンは、それぞれ電界の強さに応じて、 \oplus 極と \ominus 極に向かって移動するが、電流の大部分が電子の流れによることは、固体導体の場合と全く同じである。

(3) アーク加熱と金属抵抗加熱の比較

(表9)はアーク加熱と一般抵抗加熱の比較を示す。両者の共通点、主な相違点及びその特記事項は次の通りである。

1) 電位分布

アーク加熱では、電極間の電位分布は一般固体抵抗と異なり一様でない。すなわち、陰極及び陽極の前面に極めて薄い空間電荷領域があり、大きな電圧降下が存在する。また、アーク柱内の電位傾度は一定でなく、一般的に電位傾度は陰極から陽極に向かって低下する傾向にある。

2) V-I特性

アークは、低電流領域で電流増加とともに電圧が低下するいわゆる垂下特性を持つが、高電流になると上昇特性に変わる。しかし、通常の使用範囲では垂下特性を示し、アーク回路には安定要素が必要である。これはアーク固有の特性で、それは主としてアーク柱の熱損失特性に起因するといわれる。

3) アーク柱

アーク柱は、極めて自由度が高いフレキシブルな導体であり、アーク柱の温度が上昇すれば、膨張して表