

331 交流によるスポット溶接のナゲットの温度上昇の脈動について

近畿大学 安藤弘平
大阪電気 K.K. ○中根 壇

(1) 序説 薄い鋼板のスポット溶接には専ら交流が用いられ、その通電時間は例えば 10 ~ 20 サイクル程度である。通電によってスポット局部の温度が上昇して溶融し、溶接ができるわけであるが、今この通電期間中の途中の 1 サイクルを考えてみると、交流電流の瞬時値が零の瞬間では抵抗発熱はもうろん零である。一方スポットのナゲット局部は、それ以前の通電によってすでに相当の高温に達しているから、熱は冷たい電極の方に伝導する。したがって電流の瞬時値が零もしくは零に近い期間ではナゲット温度は低下する。つまり局部温度は時間的に脈動する。

上述の件は定性的には古くから知られており、著者の一人が定性的の計算を試みているが、^{1), 2)} 今回 次の講演番号で報告するコンデンサ式スポット溶接機によるナゲット温度の考察に関連してこの交流の場合の温度の脈動を比較的詳しく計算したので、ここに報告する。計算は一定の仮定を前提としているが、これは後に(3)に述べることとし、まず計算結果について述べる。

(2) 計算結果 後に(3)に述べる仮定条件の下に計算した結果を Fig. 1 に示す。図は通電時間が長く、温度が準定常状態に達した状態における温度上昇の脈動の様相を電源周波の 1 周期について示すもので、(a) 図は電流 i を、(b) 図は電流による発熱 i^2 を、(c) 図はナゲット中心部の温度上昇 θ_0 を示している。(a), (b), (c) 図とも、次に述べるように無次元的に表示している。すなわち (a) 図の電流 i はその最大瞬時値 i_p を基底として i/i_p なる形で示している。(b) 図の発熱は、後述の(3)の仮定により、被溶接部の抵抗を一定とし、発熱は i^2 に比例するとし、 i_p に対する発熱 i_p^2 を基底として示している。よく知られているように交流による発熱は電源周波の 2 倍の周波で脈動する事は図にみる通りであるが、横軸の時間 t は電源周期の $1/4$ の時間 t_p を基底として $t = t/t_p$ なる形で目盛っている。これは次の講演番号で述べるコンデンサ式溶接機による場合との比較対照を容易にするためで、 t_p は電流が零から最大値に達するまでの所要時間である。

(c) 図の温度上昇としては 6 つの曲線を示しているが、これは板厚による相違を示すもので、板厚、熱伝導率によって定まる熱時間定数 T を下とするとき、図は

$$g = T/t_p = 0, 1/4, 1/2, 1, 2, 4 \quad \dots \quad (1)$$

の場合を示している。熱時間定数 T は(3)に述べる仮定を前提とすると、^{1), 2)}

$$T = 4x_0^2/\pi^2 k \quad x_0: \text{板厚} \quad k: \text{熱伝導率} \quad \dots \quad (2)$$

上式からわかるように g が小さいことは対象とする被溶接材の板厚が薄いことともしくは軽合金板のように熱伝導のよい場合を意味している。脚注参照*

* 50 Hz の交流では $t_p = 1/(4 \times 50) = 0.005$ 秒である。一方 例えば板厚 1 mm の鋼板では $k = 0.08 \text{ cm}^2/\text{sec}$ であるから、 $T = 0.05$ 秒となり、 $g = 10$ となる。 1 mm の軽合金板では $T = 0.005$ 秒となり $g = 1$ となる。

(c) 図の縦軸の温度上昇 θ_0 は θ_{of} を基底として無次元量として示している。 θ_{of} は 交流ではなく $i = i_p$ なる一定直流を流した場合のナゲット中心部の最終温度上昇を表している。図にみると $\theta_0 = 4$ の曲線では温度の脈動は微少であり、 $\theta_0/\theta_{of} = 0.5$ の上下に僅かに脈動している。

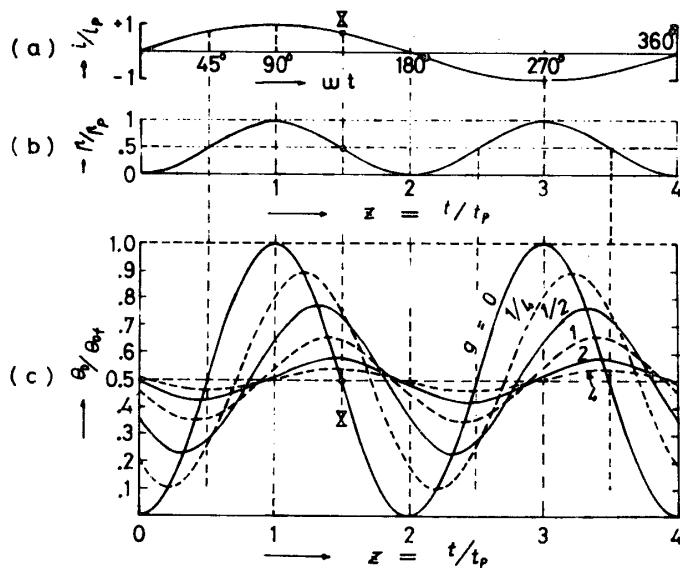


Fig. 1 準定常での 1 周期中の温度の脈動
小さな薄板において著しいが、これはナゲット中心から冷たい電極への熱伝導が容易なためで、板が厚くなると熱容量が大きくなり、脈動が小さくなるとともに、温度の最高値の位相がアルの最大の位相に対して遅れる。 $g \rightarrow \infty$ となると、この遅れは 90° で、これは電源周波に1度いえば 45° 遅れることになる。図の X-X 線の位相。 $g = 1/4, 1/2, 1, 2, 4$ に対する遅れはそれぞれ約 $(38^\circ, 57^\circ, 72^\circ, 80^\circ, 85^\circ)$ $\div 2$ である。脚注に示すように板厚 1 mm の薄板を 2 枚重ね合せた場合、軟鋼では $g = 10$ で温度の脈動は微少であるが、軽合金では $g = 1$ と小さく、無視できない。

なお Fig. 1 は温度が準定常状態になった場合を示しているが、通電を開始した直後では、温度上昇は零から漸次上昇し、時間が十分経過すると Fig. 1 のような準定常状態になる。通電の初めの頃の温度上昇の様相は次の講演番号の Fig. 2 (a) に示している。温度はまだ小さいものほど早く定常状態に達する。

(3) 温度上昇の計算のための仮定条件 薄板のスポット溶接では、その通電の初期では板と板との間の接触抵抗による発熱があり、また温度が上昇すると、電極加圧力のため多少の変形が生じ、かつ固有抵抗も増大するが、ここではこれら複雑な条件は無視して、次のような簡単な条件を前提としている。

1. 発熱は固有抵抗のみによるものとし、かつ抵抗の温度係数は零と仮定。
2. 板の変形を無視し、電流は板中の一定断面内を流れ、電流密度はしに比例。
3. 熱は冷たい電極の方へのみ伝導し、ナゲット周辺方向への伝導は無視。
4. 電極は冷たく、電極へ接した板表面の温度上昇は零に保持されている。

(4) 結論 軟鋼板では、板厚が 1 mm のように薄い場合でも温度の脈動は無視できるが、軽合金板では無視できない程度に脈動する。

引用文献 1) 安藤弘平；抵抗溶接の熱伝導 阪大溶接科講義プリント 1958年
2) 安藤弘平；点溶接における通電加熱の熱時間定数 溶接誌 26巻 558, 742 1957年

他の曲線では脈動は大きいが平均値はすべて 0.5 である。この 0.5 についてであるが、(a) 図のような正弦波交流では、その実効値は最大瞬時値の $1/\sqrt{2}$ 倍であり、したがってその発熱での一周期を単位とした平均値すなわち実効発熱は i_p なる一定電流が流れた場合の $1/2$ 倍となる。それゆえに平均温度上昇は θ_{of} の 0.5 倍となる。

温度の脈動は図にみると g の X-X 線の位相。 $g = 4$ の曲線では温度の脈動は微少であり、 $\theta_0/\theta_{of} = 0.5$ の上下に僅かに脈動している。

他の曲線では脈動は大きいが平均値はすべて 0.5 である。この 0.5 についてであるが、(a) 図のような正弦波交流では、その実効値は最大瞬時値の $1/\sqrt{2}$ 倍であり、したがってその発熱での一周期を単位とした平均値すなわち実効発熱は i_p なる一定電流が流れた場合の $1/2$ 倍となる。それゆえに平均温度上昇は θ_{of} の 0.5 倍となる。

温度の脈動は図にみると g の X-X 線の位相。

$g = 4$ の曲線では温度の脈動は微少であり、 $\theta_0/\theta_{of} = 0.5$ の上下に僅かに脈動している。