416 電子ビーム溶接におけるビーム特性と溶込み形状

金属材料技術研究所　○入江宏定
塚本進
櫛垣道夫

電子ビーム溶接機におけるビーム径の測定は非常に困難である。そこで溶込み形状とビーム径の関係を調べ、形状からビーム径を推定しうるか否かを調べた。さらにビームの焦点位置との密接な関係が指摘されている溶込み内部のふくらみ発生現像をビームのエネルギー密度との関連で調べた。

1、ビーム径の測定及びビード巾

ビーム電流密度分布測定はすでに報告したが[1]、今回は、原理は同じであるが、Fig. 1に示す比較的簡便な方法で測定を行った。すなわち水冷銅盤に0.1mmの通し孔のあいたタングステン製線引きダイスを埋込み、ビームが孔上を通過するように偏向コイルにより高速で走査する。このとき孔を貫通したビームを下に配置したファラデーカップで測定する。測定ごとの走査は記録形と連動させ、1～3サイクルである。本法（ピンホール法と呼ぶ）により測定したビーム径，電流密度分布波形及びABテストで求めたビーム径の対物距離依存性をFig. 2に示す。同図から明らかなように密度分布波形はレンズに近い点では台形で、遠ざかるに従がって正規分布形となる。ABテストとピンホール法で測定したビーム径は台形波形のときは互いに一致するが、正規分布波形のときはABテスト値の方が大きくなり、二次溶融現象が発生していると考えられる。

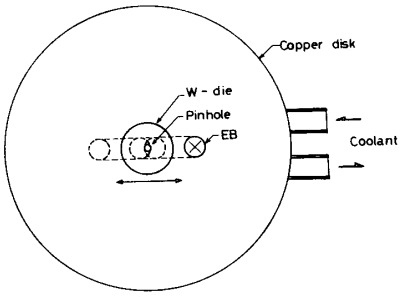

Fig. 1 An apparatus for measuring EB current density

次にビーム径と溶込み巾の関係を調べた。種々の溶接条件においてSM50鋼を溶接し、表面及びネック部でのビード巾を求め、ビーム径との関係を調べた。測定例をFig. 3に示す。図はピンホール法による径d_{b0}との関係である。ビーム径はすでに述べたように[1]、時間変動を行っているが、ネック部巾d_{B2}と比較的よく一致する。他の条件をも考慮し、実測値の直線$d_B = d_b$からの平均ずれをTable 1にまとめた。表から明らかなように、ピンホール法で求めたビーム径d_{b0}とd_{B2}とは比較的よく一致する。

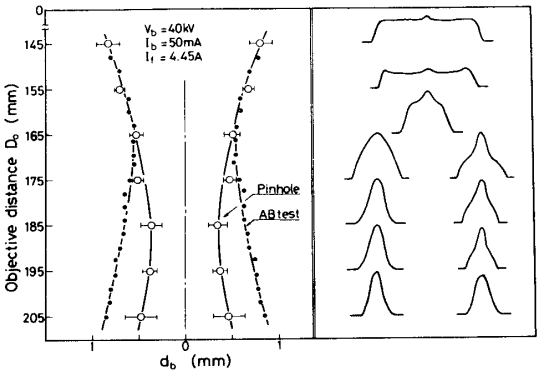

Fig. 2 EB diameter and current density distribution along objective distance

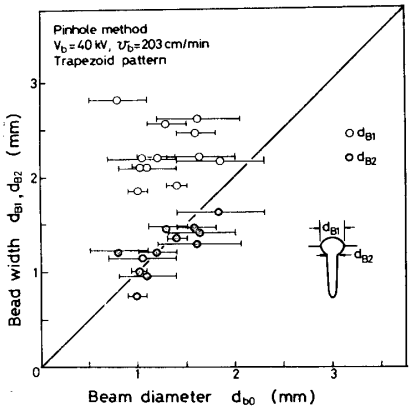

Fig. 3 Comparison between EB diameter and tow bead widths

ABテストで求めた径d_{bAB}は台形波形時にd_{B2}とよく一致している。さらにd_{B1}とd_{b0}とのずれは正規分布波形時の方が大きくなる。なお本実験はTable 1の溶接速度におけるものであるが、さらに低速では当然ビード巾が増大し、ずれは大きくなる。

この結果、適当な溶接速度を選択し、ネック部でのビード巾を測定すれば、ある程度ビーム径を推定できる。

Table 1 Difference between EB diameters and bead widths

v_b (cm/min)	Pattern	$\Delta\bar{d}$ (mm)			
		$d_{B1}-d_{b0}$	$d_{B1}-d_{bAB}$	$d_{B2}-d_{b0}$	$d_{B2}-d_{bAB}$
203	Trapezoid	+ 1.22	+ 1.04	− 0.14	− 0.32
	Gaussian	+ 2.21	+ 1.11	− 0.13	− 1.15
102	Trapezoid	+ 2.35	+ 2.19	+ 0.11	− 0.10
	Gaussian	+ 3.53	+ 2.41	+ 0.27	− 0.85

+ : $d_B > d_b$
V_b=40kV, I_b =50 ~ 200mA

2. 溶込み内部のふくらみについて

次にビームの焦点位置とその発生が密接に関連していると指摘されている[2]溶込み中央部のふくらみについて調べた。これはFig. 5(b)に示すように、中央部の巾が他より大きくなるもので、ビーム焦点が試料表面より上方にあるとき発生しやすい。このときの電流密度分布は正規分布形である。したがって密度分布波形と密接な関係、換言すれば表面近傍での溶融金属の状態が密接に関係しているものと考え、Fig. 4に溶込み深さh_pと表面及びネック部でのビード巾比d_{B1}/d_{B2}で発生領域を整理した。図から明らかなようにd_{B1}/d_{B2}が小さいときは楔形，d_{B1}/d_{B2}が大きくh_pが小さいときは平行，h_pが大きくなるとふくらみ形状が発生した。これをビード巾と電流密度波形の関係でFig. 5に示す。同図(a)に示すように焦点が下方にあり、密度分布波形が台形のときは前述のようにd_{B1}/d_{B2}は小さく、表面近傍の溶融金属は盛上り、その表面張力が大きく内部の溶融金属を吸上げやすい。他方同図(b)の上方焦点のときはd_{B1}が大きく、溶融金属の盛上りが少なく、内部に溶融金属が溜りやすくなり、二次溶融により巾が増大する。このように表面張力の大小がふくらみ形成の1つの因子と考えられる。なお、溶融金属が十分内部に溜ったときは、電子ビームの過熱による爆発現象が発生し、溶融金属が激しく流動する。

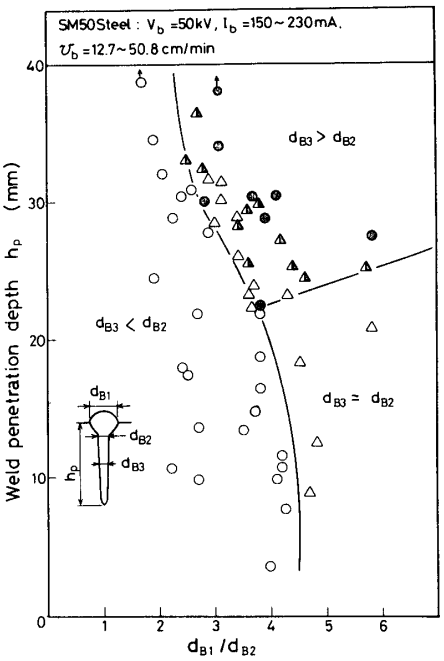

Fig. 4 Relation between shapes at the middle part and at another parts

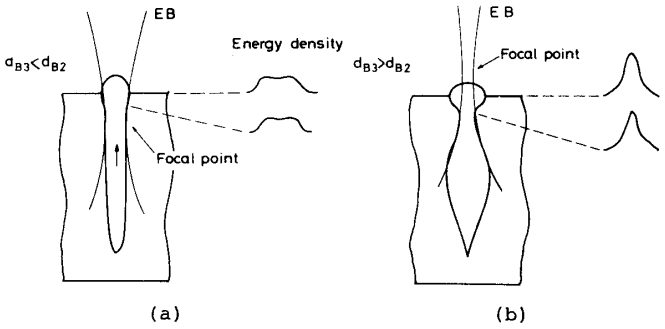

Fig. 5 Shapes of fusion zone under two energy density distributions

参考文献

1) 入江他：溶学誌，46（1977）642
2) 志田他：溶学誌，46（1977）888