

## 13段電磁加速ユニット式電子銃の開発と適用



富江通雄\*, 阿部信行\*\*

## はじめに

理想とする溶接熱源は加工材料に材質的な変化や熱ひずみなどの一切の変化をあたえないで加工できることである。このような熱源の特徴のひとつはパワー密度が無限大となるが現実には存在しない。しかし近年アーク熱源などに比べ理想熱源に一步近づいた電子ビーム熱源が活用され、10cm以上の厚板金属材料の高品質ワンパス溶接の施工など、新しい溶接技術の展開に重要な役割りを果たしつつある。筆者らは熱加工における多くの極限特性の究明と電子ビーム熱源の有用性を高める目的で高出力・強収束高密度電子ビームを造出することを緊急の課題とした。そこで高品質高密度電子ビームを射出させることができる特殊な熱源用電子銃として、新しく「電磁加速ユニット」を考案し、これを多段に連結することによって、従来開発が極めて困難視されていた「600kV級超高電圧電子ビーム熱源装置」を現大阪大学名誉教授荒田吉明先生と共同開発を行い実現させた<sup>1)</sup>ここに熱源装置と超高電圧強収束ビーム特性および溶接への適用について述べる。

## 600kV級超高電圧電子ビーム熱源装置

電子ビーム溶接の場合、ビームを1回照射するだけで深溶込み溶接を可能にするために500~600kW/cm<sup>2</sup>以上のビームパワー密度が必要であり、このパワー密度はビーム加速電圧に大きく依存していることが実験によっても証明している。

\*富江通雄 (Michio TOMIE), 大阪大学溶接工学研究所超高エネルギー密度熱源センター, 助教授, 工学博士, 溶接工学

\*\*阿部信行 (Nobuyuki ABE), 大阪大学溶接工学研究所超高エネルギー密度熱源センター, 助教授 工学博士, 溶接工学

さらに数kWから100kWクラスのビーム出力の領域まで、溶込み深さはビーム加速電圧の1.2~1.3乗に比例していることから、電子ビーム溶接熱源として超高電圧型が優れていることを示唆している<sup>2)</sup>。しかし従来の実用的な電子ビーム溶接機の電子銃のビーム加速電圧は30~150kVの範囲であり、最高電圧が150kVに制限された理由は電子銃のビーム加速がすべて1段加速方式のためである。この方式で超高電圧型にすれば電子銃内において放電が多発し、連続溶接が不可能となる。この制限を打破し実用的な高出力ビームを射出するため新しい13段加速式の超高電圧型の電子銃の開発を行ったのである。従来直流電圧多段式加速器としてパンデグラフもしくはコッククロフト・ワルトン型があるが高出力高密度ビームの射出には不向きであり、溶接などの熱加工用電子銃として使用することが困難である。

そこで多段式電子銃には従来にない新しい概念と機能を導入する必要がある。たとえば、①各加速電極間に異常電圧の発生をふせぐため電極のチャージアップ分の電流の吸収および印加された加速電圧の安定性の維持。②高出力高密度ビーム発生用カソードおよび電極の最適構造。③ビームの多段加速中にビーム軌道を変化させるような磁界の発生防止とシールド、さらに高密度ビームの誘導と射出のための強収束機構の確立。などがあり、熱源用電子銃に対する上記条件を考慮し、13段電磁加速ユニット式強収束の電子銃を設計試作した。図1に電磁加速ユニットを13個連結した電子銃を設置している熱源装置の概略図を示す。電子銃に最大600kVの超高電圧(初段加速電圧100kV, 2~13段目は各々約41.7kV)が印加されるため、乾燥空気2気圧(ゲージ圧)の絶縁圧力容器内にセットされ、銃の真空度は $10^{-5}$  Paオーダである。溶接などの

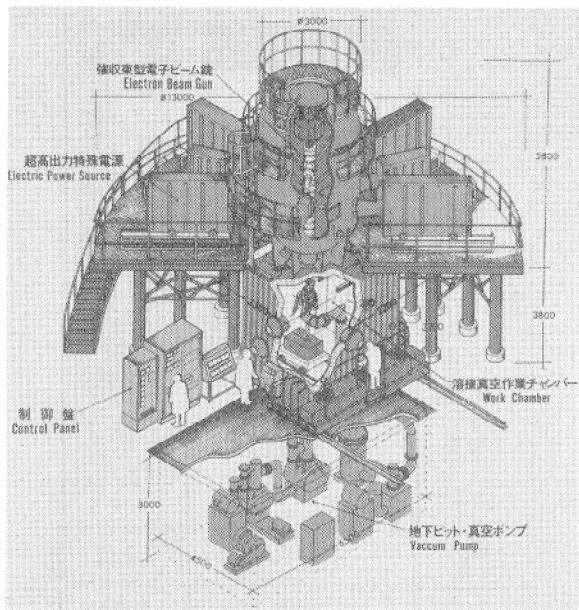


図1 600kV超高電圧電子ビーム熱源装置の概略図

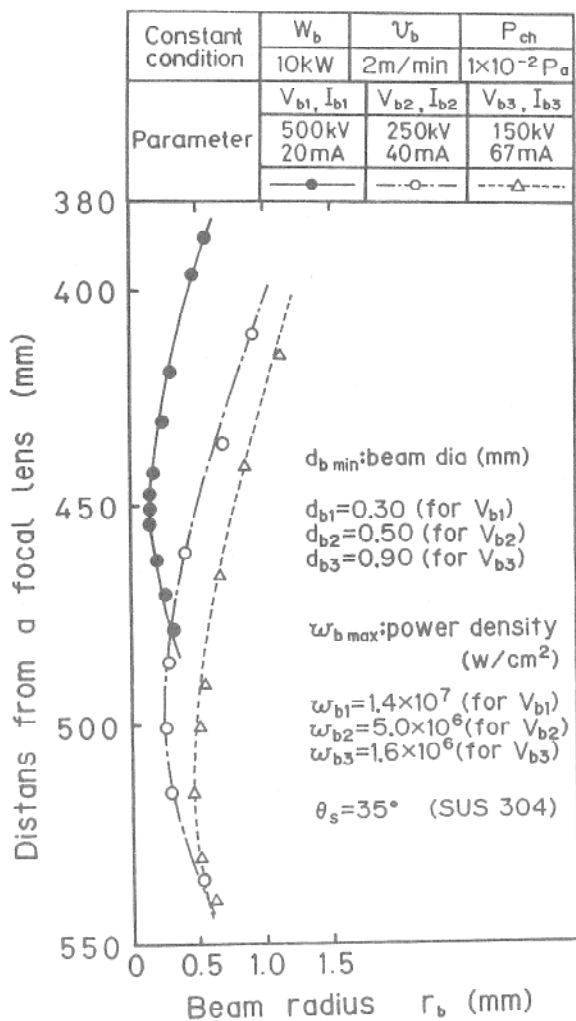


図2 ABテスト法を用いて測定したビーム形状 ( $W_b$ :ビーム出力,  $v_b$ :試料移動速度,  $P_{ch}$ :雰囲気気圧)

熱加工作業室の容積は $23.5m^3$ , 最高到達真空度は $10^{-3} \sim 10^{-4} Pa$ であり, その内部にはX, Y, Z軸の移動台車と熱加工中に溶融金属蒸気が銃内へ乱入することを防ぐための特殊なビーム偏向器が組込まれている。さらに圧力容器の周囲にはビーム加速用電源が置かれている。この電源の特徴は各電極に送っている電圧の精密制御を容易にするため, マイクロコンピュータ制御と光送信制御方式の採用である。

### 超高電圧強収束ビーム特性

図2にABテスト法<sup>3)</sup>(電子ビームによる切断現象を利用しビーム径と焦点位置の試験法)を用いて作業室に射出された電子ビーム形状の測定結果を示す。ビーム出力を10kWに固定し, ビーム加速電圧を500kV, 250kVおよび150kVと変化させている。500kV電子ビームで得られたビーム焦点位置は電子銃の最終ビーム収束レンズの中心より約450mm離れたところであり, そのビーム最小直径は0.30mmであった。この場合の平均ビームパワー密度は $14,000kW/cm^2$ が得られ, 従来の溶接用電子銃では発生することのできなかった超高密度の値である。これは溶接用アークの100倍以上で, 現在実用化している電子ビームと比べて10倍程度になっている。このような超高密度ビームを用いて厚さ10mmと5mmで楕形の形状を有するステンレス鋼製のABテスト試片の貫通溶接の施工中の1例を図3に示す。ビーム出力が一定でもパワー密度が高くなればなる程, 照射材料の加熱, 溶融, 沸騰, 飛散現象がより

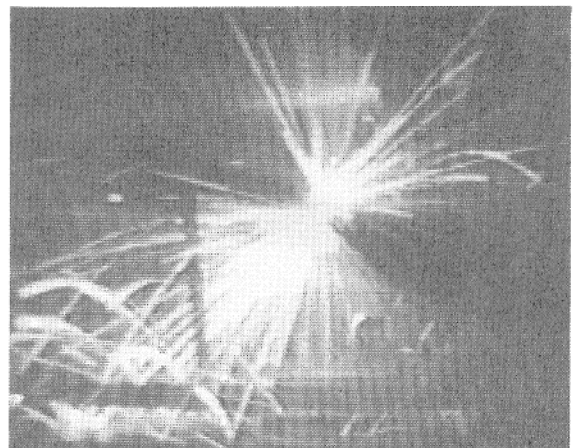


図3 500kV電子ビームによる貫通溶接中の状況 (ビーム出力10kW, 溶接速度2m/min)

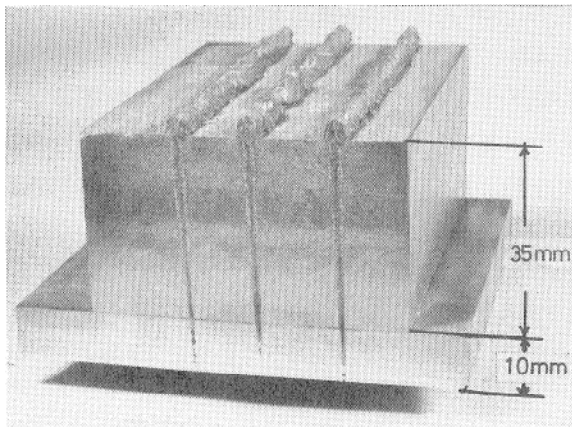


図4 500kV電子ビームによるステンレス鋼(SUS 304)の重ね溶接のビード断面と外観

短時間で起り、図のように激しい溶融金属のスパッタが貫通ビーム孔からも噴出している。

図4に板厚35mmと10mmの2枚のステンレス鋼(SUS 304)の重ね溶接の結果を示す。このときの溶接条件はビーム出力10kW、ビーム電圧500kV、溶接速度500mm/minである。溶接ビード断面はクギのように極めて細く、周囲の母材への熱的影響も最小限の溶接となっている。さらに図5にビーム出力30と10kWでビーム加速電圧が70kVと500kVの2種類の電子ビームを用いてビード溶接を行った結果の典型的なビード横断面を示す。1回の電子ビーム照射で70~80mmの深溶込み溶接の施工に500kVビームは70kVビームの3分の1のビーム出力で可能となっている。溶接ビードも70kVビームではエネルギー密度が低いため溶融幅も広いクサビ型となっているのに対し、500kVビームの場合は幅の狭い井戸型で理想に近づいた良好なものが得られている。

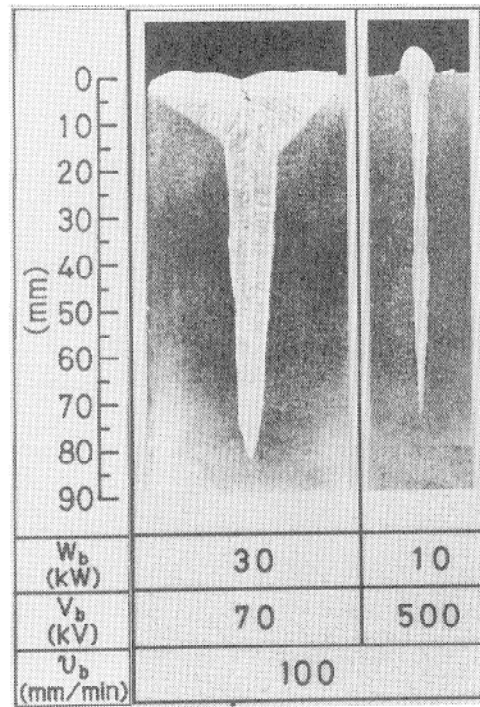


図5 70kVビームと500kVビームによるビード溶接の横断面の比較(SUS 304)

### おわりに

今後、超高電圧高密度電子ビームは高能率、高品質溶接の施工に使用するのみならず、材料の表面改質や高機能材料の創製など、先端熱加工研究に適用していく予定である。

### 文 献

- 1) 荒田吉明, 富江通雄: 高温学会誌 10, 3 (1984) 110.
- 2) 荒田吉明, 富江通雄: 溶接学会誌 46, 8 (1977).
- 3) Y. Arata, M. Tomie, K. Terai, H. Nagai and T. Hattori: Trans. JWRI, 2, 2(1973) 1., Y. Arata: IIW Doc. IV-340-83(1983).