

大阪大学溶接工学研究所

〃
〃

荒田吉明

松田福久

○村上孝士

1 緒言

電子ビーム溶接部における溶融池の諸現象に関する種々の報告より、電子ビーム溶接中の溶融池には穴があいており、この中へ電子ビームが流入しそこからX線が発生していることが確認されている。しかし目下のところ溶融池の溶湯の挙動に関してはあまりはっきりしておらず、たとえば溶接中に発生するスパイク現象および溶融金属の攪拌と気孔および割れなどの欠陥の発生との関連など不明なことが多い。

そこで本研究では、とくに電子ビーム溶接中の溶融金属の挙動について注目し、溶融金属の動的な挙動を溶接中に発生するX線量による溶込み現象の観察、瞬間噴出法による凝固界面の現出、インサートメタルを用いた溶融金属内における溶湯の流れの観察および高速カメラによる溶融金属表面の動的変動ならびにこれらとスパイク現象および溶接ビードのリップル線との関係などを求めた。さらにこれらの各実験より得られた結果を利用して、電子ビーム溶接中の溶込みと溶融金属の動的挙動を示す一般的な機構図を作成し、溶接現象の解析の基礎とした。

なお本実験にあたって、電子ビーム溶接装置はすべて6kW(150KV, 40mA)のものを用いた。

2 実験結果および考察

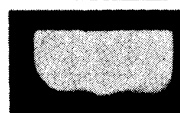
まずはじめに溶融金属の表面形態を観察するため鉛製のピンホールカメラを試作し、溶接中の溶融金属から発生するX線量をフィルムに感光させその溶込み形態を観察した。なお使用母材としてはSB49鋼板、SU5304および2Sアルミニウム板(いずれも板厚40mm)を使用した。撮影したフィルムの例をPhoto. 1に示す。観察結果をまとめると次のようになる。i) フィルム上の像は実際の溶込み形状には対応していた。ii) 電子ビーム溶接中の穴あき現象が直接的に示された。iii) 周期的にX線フィルムに濃淡がみられた。すなわち溶融池に流入する電子ビーム流の強さはつねに変動していることがわかった。

つぎに前述した溶融金属の表面形態と凝固線の形態との変化を知るため、試作した瞬間噴出方式の治具を用いて溶接中の溶融金属を噴出させこれを観察した。この原理は電子ビーム溶接中に母材の底部にまで溶込みが達したとき、表面に空気を入れたタンクを付加しておきこのタンクより瞬間的に空気を真空中に向って

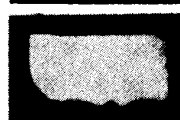
→ Welding direction



Aluminium(2S)
150 KV
34 mA
500 mm/min.



Carbon steel(SB49)
150 KV
34 mA
200 mm/min.



Stainless steel(304)
150 KV
30 mA
200 mm/min.

Photo. 1 Some examples of weld penetration shape on X-ray film

噴出させるものである。その結果、溶融池の金属は完全に噴出し凝固面が露出するのである。本方法により得られた凝固界面の例を Photo. 2 に示す。この観察結果をまとめると次のようになる。i) 本法により溶融凝固線をほぼ現出させることができた。そして溶接ビードの縦断面にみられるリップル線は凝固線を表わしていることがわかった。ii) 同一溶接条件による溶接ビードでも上記の凝固線はかならずしも同一形態を示しているのではなく、形態は種々変動していることがわかった。

つぎに溶融金属の湯の流れを調べるため、鉄鋼材料の底部よりステンレス鋼ワイヤ(直径 1.6 mm)を挿入しこれを溶融させてその流れを観察した。その結果 Fig. 1 にみられるように底部のステンレス鋼ワイヤが溶融し上部へ流れ上ってきたとき、上部の屈曲部の位置で二つの流れに分かれている。そして一部は屈曲部を通りさらに上部の偏平部へ流れしており、他は屈曲部で一回転し溶接方向へ流れ落ちている。そして後者の方が明らかに多いことが認められた。

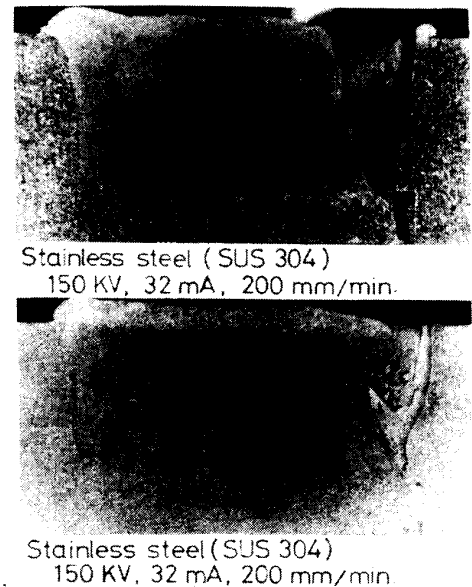


Photo. 2 Some examples of solidification interface

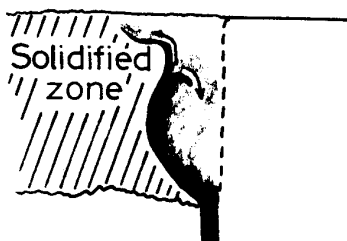


Fig. 1 Two kinds of flow in molten metal

以上種々の実験結果より、電子ビーム溶接における溶融金属の動的な挙動は Fig. 3 のように推測される。すなわち a) 溶融金属の自重により表面近くの溶融金属は穴をふさごうとする。そのため内部は加熱され急激な膨張がおこる。b) 膨張によって下部の溶融金属が壁面に沿って押し上げられ、ビード表面に大きな山が形成してくる。c) 湯の圧力によりふたたび山が低くなり出す。このとき底部から押し上げられた溶融金属は、屈曲点にて前述のように二分されるものと思われる。

さらに溶融池表面の溶融金属の変動を調べるため、高速度カメラ(ハイカム)を用いて溶接時のビード表面を撮影しこれを解析した。その結果 Fig. 2 に示すごとく周期的に溶融池表面に盛り上りの生じるのが観察された。

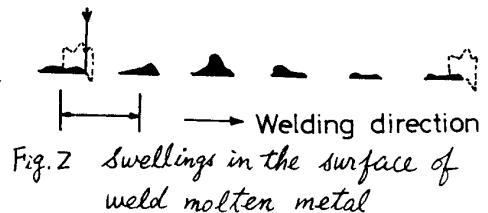


Fig. 2 Swellings in the surface of weld molten metal

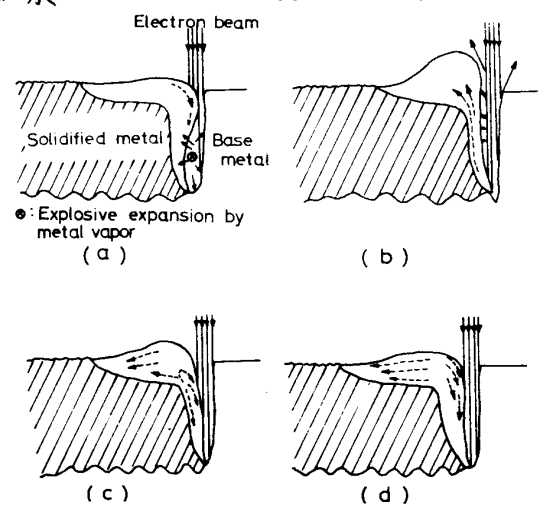


Fig. 3 Schematic representation of dynamic behavior of weld molten metal