

1. 発展の経緯

電子ビーム溶接技術はすでに10年以上の歴史をもっている。最初原子力関係で初めて適用がこころみられた本法も、宇宙産業・航空機工業などへの溶接法の適した応用分野において溶接法、装置など基礎技術が育成され、現在のような完成された溶接法への成長の基盤が培われた。この種産業では多分にもれず国家的な庇護のもとで技術発展を遂げ、この間に自動車工業など民需工業への適用の基礎が確立した。自動車工業への適用は宿命的に量産技術という重要課題をせおうこととなる。この至上命令をうけた自動車製造業界は溶接機メーカーの側面協力を経て両者の緊密な協力により電子ビーム溶接の量産技術への導入に成功をみたのであるが、その熱意と積極的努力は高く評価されねばならない。自動車工業の量産要求は電子ビーム溶接技術の普及実用化を促したともいえよう。真空中電子ビーム溶接技術にしてもこうした状況によって開発普及が促進されたものと考えることができ、電子ビーム溶接がすぐれた量産向けのプロセスであって、生産性の向上、至費の節減をもたらす溶接技術に仕立てられたものである。

2. 装置の設置状況

①各国の設置台数：現状を把握するための十分な資料がないので正確なことは不明であるが、ほぼつぎのように推定される。米(500~700), ヲ(200~300), 英・仏・独(各100), 日(60)

②アンケート結果からみたわが国の現状(電子ビーム溶接研究委員会)：昨年末、電子ビーム研究委員会で調査したアンケートではつぎのようである。調査もれと未回答事業所もあって必ずしも現状を正確に示すものではないが参考までにあげておく。

i) 設置台数：32

ii) 設置年次：昭和40年以前(4), 41~42年(4), 43~44年(9), 45~46年(7)

iii) 使用目的：研究専用(10/(15~18)), 生産専用(3/(15~18)), 研究生産併用(9/(20~24))

iv) 機種および容量

(1) 真空度 $\begin{cases} 10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ torr} & (17) \\ 10^{-2} \text{ torr} & (11) \end{cases}$

(2) 出力 25~60 kV, 5~500 mA, 0.75~30 kW (19)

80~150 kV, 1~60 mA, 0.08~9 kW (13)

(3) 真空室の大きさ：10 m³以上(2), 2 m³(3), 1 m³(10), 0.4~0.5 m³(2)

0.1~0.2 m³(5), 0.1 m³以下(4)

v) 溶接材質および板厚：炭素鋼, 特殊鋼, ステンレス鋼, 銅, アルミニウム, タンモリブデン 板厚最厚50mm以下

④主な溶接製品：自動車エンジン用ミッションギヤ，熱交換器，ポンプ部品，タービン航空機用エンジン，航空機機体部品，ロケットミサイル部品
クラッチ用ケース，鋸刃など

3. 各種工業での応用例

①原子力工業：燃料被覆管の端栓溶接，燃料棒保持用クリッド

②宇宙関係：サターンロケットの燃料タンクの溶接，液体ロケットの燃料噴射器（インジェクター）（50cm径位の円板状Al合金に100本位近接した溶接をおき燃料と酸化剤の噴射孔を設ける精密溶接）

③航空機

(A)機体関係：翼の取付用結合金具（Ti），ヘリコプターのロータハブ（Ti）
コルゲートビームの製作

(B)エンジン関係：コンプレッサーセクション，タービンセクションのステータ部分，ファンブレード（Ti，中空），コンプレッサーのインレットベーン，小型タービンエンジン（Shaft（炭素鋼）—wheel（鋳）），トランスミッションギヤ（炭素鋼），中空ブレードディスク（中空化によって冷却作用をまし，耐熱性，軽量化をねらう），各種補修（オーバーホール，製作ミス）（一般に量産製品でないものは補修が有利）

④自動車：トルクコネクター，ステリンクカラムジャケット，ボールジョイント，フライホイールギヤ，クラスタギヤ（一体鍛造で製作されていたが溶接採用によって歯を切る前後工程が簡易化し，小型化と性能向上，生産工程の合理化）

⑤その他：タイヤフラム，ベローズ，鋸刃

4. 電子ビーム溶接適用のメリット

①自動化，省力化の推進：溶接速度がきわめて大きく，自動化が容易かつ信頼性，再現性のある継手が容易に得られるので量産品の溶接に適す。

②製品の性能向上：精密溶接ができるので機械加工部品の組立溶接が容易となり，設計が単純化できる。さらに構成材質についてもその特徴をいかした設計ができるので，製品の小型化や高性能化ができる。

③製品コストの低減：従来鋳，鍛造品で製作されていたものが溶接構造におきかえられること，さらに溶接後の機械加工，熱処理がはぶけることによって工数ならびに生産コストが低減できる。

④新製品の開発，設計変更が有利：製品の性能向上のための設計変更ならびにこれにともなう標準部材の流用などにも有利である。また機械加工ミスの修理，高級鋳物の修理などの補修溶接ができる。

ところで溶接機の高価であることが普及，実用化の大きい障害になっていることは確かである。必要な性能を失なうことなしに現在の価格が半減できればマーケットもかなり拡大されるものと思われるが，専用機では特性や性能の低下はゆるぎないからコストダウンはあまり期待できない。

わが国の現用装置は50～60台程度と考えられるが、製品の種類、稼働状況によってその採算性もさまざまであろう。しかし適用方向さえまちがっていなければそれなりのメリットは発揮されるはずで、一部で装置が追加増設されている事情はこれを物語るものである。

電子ビーム溶接の経済性は設備費、運搬費、工数、資材節減など総合至費から考えることになるが、その実績も少なく簡単には推測できない。

採算性に寄与する基本項目には、①製造工数の削減（工程の改善、溶接後の機械加工や熱処理の省略）、②高価な材料の節約（新設計への導入、材料の適切な利用）、③製品の性能向上（軽量、小型化）、④製品の信頼性向上（検査費の削減）などがあげられる。クラスターギヤの製作を例にとると、いままでの一体鍛造品を部分鍛造品と市販の材料との溶接におきかえれば①、②を同時に満足することになり、同時にコストの低減をはかることにもなる。また電子ビームの特徴を活かした溶接設計の採用によって③が、さらに④の信頼性の高い溶接結果が得られることになる。

溶接至費には設備費、運搬費などの直接至費のほかには溶接管理の費用があり、溶接後のロット毎の検査などの至費も見込まれるが詳細は明らかでない。さらに電子ビーム溶接作業はワークを治具に取付けたり取外したりする治具作用的色彩が強いため、溶接作業能率は治具によって左右される場合が大きい。

5. 材料加工における電子ビーム溶接導入の意義

溶接における重要問題の一つに溶接入熱がどれだけ少なくできるかという点がある。というのはいうまでもなくこの溶接入熱が溶接物に与える熱ひずみとか、熱影響による材質の劣化の程度を決定するからである。入熱をできるだけ抑え、かつ安定に溶接をおこなうためには高エネルギー密度熱源の溶接法の開発が求められる所以でもあり、本法実用化のもっとも基本的な背景となっている。

周知のとおり電子ビーム溶接には顕著な“深溶込み現象”がみられ、溶接入力は現用の溶融溶接中で最小といわれる。電子ビーム溶接では継手の溶融部が単に接合面のごく薄層に限られ、熱影響は少なく、精密溶接法として急速に各方面で活用されるようになった理由はここにある。現状では厚板材への応用実績はまだ少ないが、将来超厚材の溶接など、従来法では非常に煩雑な作業も電子ビーム溶接を採用すれば一層溶接が可能となり、少ない溶接入熱で溶接中のせまい、熱ひずみ、材質劣化のない高品質の継手をつくることも等ではなく、電子ビーム溶接法は超高エネルギー密度をもった溶接法として今後ともますます重要視されるものと期待している。

“電子ビーム溶接の出現、導入が材料加工技術にどのような寄与をしたか”とか、“材料加工技術における電子ビーム溶接の位置づけ”といった点についての著者の率直な印象となると少し大げさな表現になるが、“溶接が機械加工技術の分野に一部くい込んできた”ということになる。従来の溶接技術の概念では溶接欠陥のない継手をつくることに重点がおかれ、溶接ひずみ、材質劣化などは溶接には避けえない現象としてその対策はもっぱら溶接後の後処理によっているという感じがつよい。つまり溶接加工には機械加工、後熱処理は欠くことができないものとして考えられていたのである。しかし電子ビーム溶接の採用によ

って溶接いすみを0.1mmあるいはそれ以下に削減し、機械加工の程度まで精度を上げることであれば溶接後の機械加工や後処理の必要がなく、溶接のままで十分要求が満たされるので溶接加工も機械加工技術の仲間入りができることになる。以上は電子ビーム溶接の実用実験がまったくなく、限られた資料調査から受けた印象であるので、必ずしも当て得た表現とはいえないまでも著者のいつわらざる印象である。かように電子ビーム溶接の採用により従来の一体鍛造で製作されていた部品を溶接構造に差えることが可能になり、高価な材料の適切な利用、加工費の節減、製造工程の合理化、製品の性能向上、補修による再生など数々の利用をもたらす結果となった。

したが、てまた電子ビーム溶接法は従来の溶接に代って用いられる性質のものでなく、接合の一手段であつと同時に機械加工工程の一種、あるいはその補助手段と考えるべき状態となりつつあるという二つもあり、将来は必ずみのすない特徴をさらにいかした組立て手段として発展する可能性もある。

6. 将来展望

電子ビーム溶接技術の開発実用化にはなお精力的な研究と努力がなされておられ現在も発展途上にあるので今後を予測するのは容易でない。

まず装置面ではすでに実用化が定着しはじめた高真空式装置が今後さらに伸びることになる。これは本法が現在専用機化の傾向にあることを併せ考えると当然のことといえよう。さらには利用の拡大多様化にともなう局部真空溶接、大気中溶接などの真空チャンバーの制約からの解放、スライディング・テーブル方式の量産機、電子銃の多頭化などもますます問題となる。

また現状では溶接棒は使わず、鉗子はI型突合せがもっぱら使われている。これは鉗子形式が簡単でワイヤその他の消耗品の必要がなく経済的である半面、開先加工精度が厳格となるので今後はその緩和策、溶接性能向上の意味から溶接棒の使用が求められることは必ず、したがって溶接棒の供給方法ならびに材質の選定が問題となる。

つぎに溶接技術面では今後予想される実用開発に備えて継続的な基礎研究が求められるが、なかでも緊急に解決されるべき課題としては溶接管理のための自動制御技術、非破壊検査技術の確立があげられる。安定な溶接結果を得るには溶接機のプロセス・パラメータの安定化、溶接線の自動追跡装置なども今後ますます必要となる。非破壊検査法には一般の溶接検査と同様の試験が採用されているが、溶け込みの確定、目ハズレの検出にはよく超音波探傷が有効とされている。溶接線の目ハズレを避けることは本法の大きな欠点を克服することになる。

電子ビーム溶接技術がわが国産業界で本格的関心がもたれはじめたのはここ3～4年のことで、まだまだ普及をみることはまちがいない、受託加工面でも大きな発展が期待されよう。

重工業方面での実用化では現在まだみろべきものがないが、電子ビーム溶接の導入にはきわめて意欲的であり、実用的な局部真空型、真空外装置の開発、各種材料の溶接性、さらには本法に適した材料の開発なども求められ、材料メーカーの協力も必要となる。