れている。図 6 の装置も電子ビーム溶接機メーカーの製作したものであり、今後の溶接分野におけるレーザの地位に注目する必要があるだろう。

参 考 文 献

- 1) 小林昭: 精密機械, 41, 1, 1975. 1.
- 2) 小林昭: 日本機械学会誌, 73, 613, 1970. 2.
- 3) 小林昭: 精密機械, 38, 9, 1972. 9.

- 4) 黒田秀郎: 真空, 11, 5, 1968. 5.
- 5) 松田昭三: 機械技術, 19, 10, 1971. 10.
- 6) 黒田秀郎: 機械の研究, 23, 12, 1971.12, 24, 1, 1972. 1.
- 7) 小林 昭: レーザ加工, 開発社, 1973.
- 8) E.V. Locke and R.A. Hella: IEEE J. Quantum Electronics, 10, 2, 1974. 2.
- 9) M. Yessik and D.J. Schmatz: Metal Progress, 1975. 5.
- 10) 応用機械工学, 1971. 12.
- 11) JETRO News No. 105, 1972. 11.

機械部品製作における溶接技術活用と問題点*

荒 城 義 郎**

Problems on the Application of Welding Technics for the Fabrication of Mechanical Parts*

by Yoshio Araki**

1. ま え が き

1.1 溶接技術活用の新傾向

機械部品生産のための溶接技術について、構成品の設計、施工法、品質保証、経済性などを実例に結びつけ、その導入や問題点について述べる。

技術の進歩は著しく、本日の新技術が必ずしも明日の新技術ではない反面、過去のすぐれた技術が忘れられている場合も見られる。溶接技術を合理的に活用するためには、次のような問題点を検討することが高い工業レベルを持つ国々で重視されている。

- (1) 顧客との共同基本設計および共同開発
- (2) 生産に応じた構成設計
- (3) 諸種の塑性加工法や高精度鑄造法の併用
- (4) 高密度熱エネルギーの活用
- (5) 小量、中量、多量各生産量に応じた能率化
- (6) 品質維持と自動化の方式
- (7) NC化と専用装置の活用分野
- (8) 製造工程モニター制度
- (9) 非破壊検査法
- (10) 新施工法の開発

これらを考え方の参考にし、機械部品の成形に新しい技術を含めて溶接技術を導入し、活用する場合について

考える。

溶接や圧接については、とくに新技術が目立ち、融接ではプラズマアーク溶接、電子ビーム溶接、レーザ溶接などを、また圧接では摩擦圧接、爆着など一般に特殊溶接と呼ばれるものの活用は、時折明かな経済性や品質安定効果をもたらすが、一般の溶接方法が効果的に活用されることも多い。

溶接加工の精度も向上し、目的に応じた適切な設計と施工法の採用は、機械部品生産の上で重視される。大胆かつ細心に、これら技術を活用することによって、経済的価値を高めるための問題について述べる。

1.2 溶接施工法

発展と伸長がつづいている熱切断、抵抗溶接、スラグ溶接などは自動化の傾向が強まり、超厚板、極薄金属、超強じん鋼、耐熱合金、アルミ合金、チタン合金などの溶接は専用化が進みつつある。

大幅な設備投資に代って手持ち装置の活用や改善に力が払われ、模倣から独創的施工への関心も高まった。

1.3 溶接能率の向上と作業管理

単に省力化を目的とするものから、人間性重視と品質維持の上に立つ合理的な自動化が進みつつあり、たとえば CO₂ 半自動化乱用の傾向にも反省が高まっている。

量産にはトランスファシステム、小中量生産にはNC化やロボットの活用も増加している。

基礎技術の生産への展開や、溶接機械と施工との結び

*原稿受付 昭和51年1月30日

**正 員 菱日エンジニアリング(株) Member, RYONICHI Engineering Ltd.

つけに弱点を持つわが国では、溶接技術者の労務管理や日程管理に関する負担軽減と事務処理制度の強化に対し経営者が責任を持つことも必要になっている。

設備と技能の管理および作業標準の確立を前提とし、作業員の個人差や意欲向上を考慮して、バッファを持つ流れ方式や、一定の工事をまとめるランコ流れ方式のような人間性尊重の上に立った新しい方式の採用も環境衛生や公害防止の問題とともに作業管理上注意すべきである。

1.4 品 質

品質の安定化と高精度化に対し、生産品は事後検査より工程監査に、破壊検査より非破壊探傷に重点が置かれ、制度化された自主管理と、自動化されたモニター方式の採用なども考慮すべき問題点として取上げられる。

品質の基本的考え方としては、設計段階における品質、製造段階における品質、設備と工程能力、作業標準、作業指示、材料の管理、外注先管理、検査、品質監査、品質とサービス、品質の基礎研究に十分な理解が必要である。

とくにわが国の品質体質からは、品質自主点検の制度を重し、その真意と正しい実施方法、監事やフォローに関しても十分検討活用することも重要である。

1.5 特殊溶接

新しい技術として、活用度の高い電子ビーム溶接と摩擦圧接については国際会議においても実用に関する問題点の数々が取り上げられている。

電子ビーム溶接については、欧米に比較して普及が遅れが目立つが、反面過信する傾向も見逃せない。低真空方式や移動真空室式施工に関しても、慎重かつ大胆な活用は好ましいが、問題点をよく検討する必要がある。

普及度は世界一といわれるわが国の摩擦圧接は、効果の大きい場合が多いが、プロセスにおける条件管理の思想をよく生かした。独自のモニターシステムの開発や活用も併せての考え方が重視されるべきである。

プラズマジェット切断、プラズマアーク溶接など普及の緩慢なものや、レーザー熱源による加工法はまだ今後問題を残しているが、活用には独創性を活かす体制作りが必要である。

2. 溶接技術の機械部品生産への適用

2.1 機械部品高精度溶接の方向

2.1.1 溶接の用途向き特徴

溶接技術の進歩はいちじるしい。機械部品成形に対しそれに適した経済性の高い技術をどのように導入し、活用するか、どのような施工法や管理法を採るかについて基本的な考え方を事例に結びつけ、問題点を具体的に捉

えて行きたい。

現在、ファブ리케이션として溶接技術が見直され、一般的な溶接方法もより高能率化、高精度化が考えられ、さらに溶接のためのエネルギーを集中して使用する方向に進んでいる。省力化や能率化のための設備投資も活用を誤って、部品の性能や精度が不十分になったり、経済性がなく稼働率の低い装置を抱えたりすることのないように、接合すべき構造物の形状、材質、使用目的、生産量などから方法を選び、電源、供給ガス、充てん材、フラックス、前後の加工などを含めた総合的コストをよく調査検討すべきである。

限られた施工法に止まることなく、圧接を含めて広く溶接方法を選定するため、一次的に選定した施工法に対して幅の広い検討を重ね、最終的決定に悔いを残さないことが大切である。それには、一般的溶接方法だけでなく実用化の進んでいる摩擦圧接、電子ビーム溶接、プラズマアーク溶接はもとより、レーザー溶接や拡散溶接の活用に対して即応できるだけの検討をしておくことも大切である。比較的多く活用するものについて進める。

(1) アーク溶接

アーク溶接は機械部品の溶接に最も多く活用され、現在溶接工事の過半を占め、この比率は増大の傾向さえある。しかし、アーク溶接は一般に熱ひずみが問題になりやすく、高精度を要する場合に、アーク溶接の中から適したものを選び、すぐれた生産設備をセットするには、意外に高い技術力を要する。

アーク溶接におけるフィラメタルは、溶接棒などの矩ワイヤから連続ワイヤ型に、またフラックスシールドからガスシールドまたはガス・フラックスシールド型に移行する傾向もそのまま取入れてよい。

被溶接物の構造や材質によって、手溶接、TIG、MIG、MAG、潜弧、プラズマアーク、スタッド溶接などいろいろの方法が選定されるが、生産量とコストの関係をよく検討することも大切である。

アーク溶接を主とする溶接法を、他の溶接法、とくに新しい溶接法に切替える場合には、経済性を十分に引きわめてから実施すべきである。

アーク溶接を利用して高精度の構造物を生産するには、ひずみを少なくすることが大切で、ひずみの発生に対して大きな機械切削しろを取ることはなるべく避け、次の方法でひずみと取組むことが望ましい。

ア 拘束を強くしてひずみを押える。

イ ひずみのおこりにくい断続ビードやステップバック施工法を採る。

ウ ひずみを見越して逆ひずみや縮みしろを採る。

エ 局部なましやピーニングによって応力を開放し、

また応力のバランスを採る。

オ 総合的な溶接構成法によって各部の応力がひずみを抑え合うようにする。

カ 部分別に溶接し、生じたひずみを機械的に取り除いてから組立て溶接に移る。

これらをうまく活用することによって、大形で複雑な構造を持つ機械部品を高い精度で能率よく溶接することができる。

(2) ガス溶接、電気抵抗溶接

酸素を使用する溶接と電気抵抗溶接の基本技術は、アーク溶接のように進歩はいちじるしくはない。前者は手軽で設備費も少なく、ガス切断と併用しやすいこともあって溶接構成に一役買い、トーチから粉末状溶加材を噴出させて低温溶接の効果をねらった高精度溶接向きのものもある。後者は自動車産業などを主体に、板金、ワイヤ、軸類などの溶接に不可欠で、量産的な機械装置は高度に発達し、精度と品質の安定を計ることができる。

これらの溶接法の中で、高性能や高精度を要するものの一部は、特殊溶接法に置換えられる傾向も見られる。

(3) 特殊溶接法

いわゆる特殊溶接法は、フィラーメタルを使用しない場合が多く、この中のあるものは非熔融溶接法である。

機械構造物の生産工事に広く活用される特殊溶接法中で、熔融溶接法では電子ビーム溶接、非熔融溶接法では摩擦圧接が代表的で、この二者は適切な活用によって非常に高い精度と大きなメリットを得ることが多い。

電子ビーム溶接はわが国では実用の遅れが見られる。設備費の比較的大きいことや、真空室の容量に制限を受けるため、他の溶接法で代替することもあるが、本質的に電子ビーム溶接が最適と認められる場合には、低真空式や移動真空式を採用したり、極度に専用化することなどによって装置を安価に製作することで思い切りよく採用することも大切である。

摩擦圧接は、精度や経済性に対し非常に有効なことが多い。接合し得る材質の範囲も広く、工夫すれば設備費も比較的低い。機械構造部品の中で、タービンやエンジン部品の異材接合において最大溶接誤差 ± 0.1 mm の精度を得ることも珍らしくない。

摩擦圧接では、接合後の検査によって接合強さを判断することは非常に困難なために、設計者が活用に対して心配する傾向もあるが、接合部の衝撃値のばらつきにいたるまで管理することも可能である。十分な基礎試験から得た設定条件の管理とモニター制度の採用により、強さや精度を高い信頼度で保証することができ、従って、車両用保安部品、高速回転体用耐熱部分などへの活用に対しても、安全性についての本質的な心配は無用で

ある。いうまでもなく、摩擦圧接に関する技術と品質保証に対する体制は肝要であるが、ランニングコストも低く、引張り残留応力が少なく、環境衛生問題の少ないこの新技術の採用に臆病になることは全くない。

新しい溶接法の中で、ガス圧接、拡散溶接、レーザー溶接などは機械部品の接合への活用例が多いとはいえないので、実用に対してはさらに基礎研究との結びつける技術の促進が必要で、ニーズに対する生産設備の導入に関しても慎重な考慮が望まれる。

2.1.2 アーク溶接におけるひずみ防止

フィラーメタルを使用するアーク溶接において、溶接棒を中心とする手溶接法が連続ワイヤを使用するガスシールド溶接や潜弧溶接に移行する傾向にある。しかし、手溶接をそのまま CO_2 溶接や潜弧溶接に変更すると、ひずみが大きくなったり、精度が低下したりする傾向もでることがある。

溶接部の収縮は、平均溶接ゾーンの $0.004 \sim 0.008$ 倍になる²⁾との実験結果がある。電子ビーム溶接の場合に溶融巾が 2 mm であれば収縮は $0.07 \sim 15$ mm となり、アーク溶接で溶融巾が 15 mm であれば $0.45 \sim 1.0$ mm 縮むことになる。しかし、アーク溶接の場合は電子ビーム溶接の場合よりも微小局所の塑性変形や再結晶が応力を開放する傾向などから、縮みの総量はこの半分以下に止まるのが普通である。

Fig. 1 は、ある条件における超高張力鋼 T 型すみ肉完全接手溶接ひずみの例で、工夫すればアーク溶接の場合のひずみを電子ビーム溶接に近い程度まで押えることもできる例を示している。

Fig. 1 超高張力鋼隅肉溶接のひずみ (mm)

アーク溶接において、工作精度を維持するのに意外に問題の多いものに、半自動 CO_2 溶接がある。ガスシールド溶接の中では MAG, MIG, TIG の順に溶接精度を維持しやすいこと、また MAG 溶接においては混合ガスや複合ワイヤの活用により熱分布や溶融巾を調整して精度を高し得ることなどを知って施工法を設定することが有利である。

完全自動化の場合には一般に溶接精度を維持しやす

く、十分なテスト結果を基に正しくセットアップした場合には、MAG 溶接によって高い精度と能率を維持している例もある。

溶接構成では、溶接接手の設計は非常に大切である。

溶接精度を維持するには、できるだけ余分な母材溶接を避けることも大切で、溶接部には熱エネルギーを狭く集中するために安全な範囲でなるべく狭開先を採り、施工順序や拘束方法を含めて高精度と高能率を確保することが行なわれる。

2.1.3 自動化と高精度化

溶接施工の自動化は、必ずしも省力化の目的のみではなく、精度を維持し、品質を安定化するために行なうことも多く、NC化もこれらの意味でアーク溶接にまで及んでいる。この場合、溶接中に正しい溶接線を維持するため、ひずみ発生をよく制することが必要で、必然的に高精度化の目的にも通じる。

電子ビーム溶接や摩擦圧接の場合には、熱エネルギーが集中的に短時間に活用されて施工を終るのでひずみは概して少なく、機械的または電氣的制御法を活用した自動化率も高い。

ひずみの発生しやすい傾向を持つ各アーク溶接においても、自動化による高精度化に成功した例が多く、溶接構成に適した自動化は省力化と高精度化両立の効果を上げることが多い。

2.1.4 溶接と労働衛生

溶接の導入に当っては、労働衛生に関する問題点をよく認識し、正しい措置を採ることが必要である。

酸素アセチレン溶接においても、溶加材、ろう材、母材ともに昇華しやすい Zn, Cd, または Zr, Cr, Ni などを多く含んだり、これらのめっきを施したものは、金属およびそれらの酸化物のヒュームに対して作業者は十分に注意することが必要である。

アーク溶接においてはヒュームやふんじん類は大きな問題として取扱われる。一般の炭素鋼溶接においてさえ Fe や Si の酸化物も有害とされる報告が増加し、母材や溶加材中に多量の Al, Zn, Cd, Zr などの含まれる場合はいうまでもなく、オーステナイトステンレス鋼溶接における Cr, Ni, F, K などを含むヒュームやふんじんも、発癌性が立証されている NiO_2 , Cr_2O_3 に止らず、労働衛生学上で注意を要するものとされている。

また、半密封構造物内における TIG, MIG, MAG 各溶接による酸素欠乏、通気をよくすることによって生ずるアークのみだれ、Al 合金溶接時の強烈な O_3 や紫外線発生なども労働衛生上重視すべき問題である。

しかし、これらを理由としてアーク溶接の導入や活用をためらうことなく、また母材、フラックス、溶加材な

どの工夫によって基根的決解を得べきものでもないことを認識して、正しい防護措置を採ることが肝要である。

一般に、溶接作業場の局部換気と活性炭フィルタ付マスクの活用、さらに安全度の高いエアラインマスクの着用が推奨される。吸煙トーチの活用も有効ことが多いが、紫外線は強められることを忘れてはならない。

2.2 溶接の機械部品へし導入実例

2.2.1 ガス溶接の活用

機械部品の構成において、熔融中の狭い電子ビーム溶接や摩擦圧接とは対象的に広い熱影響巾を持つガス溶接に高い性能や精度を求めることもある。高精度を得るための酸素アセチレン溶接の例を上げる。

Photo. 1 は非磁性オーステナイト鋼製ディーゼル機関用カムシャフトで、カム部は肉厚約 2.5 mm のステライト肉盛りをするが、全長約 1500 mm の間に 24 のカムがあつて、熱変化や析出によるひずみを生じやすい。全般予熱、局部予熱、局部加熱、溶接方法、施工順序などの僅かな違いや、ピンホール発生防止のための慎重さから起きる施工方法や施工時間の変化はひずみを変化させ、溶接後研削仕上が困難になりやすい。TIG 溶接は部分的に併用することもあるが、主力を酸素アセチレン溶接によって、ステライティングの性能と精度を維持するのがよい。

Photo. 1 ガス肉盛されたカムシャフト

Photo. 2 はエンジンの水冷ジャケットを、窒化鋼製シリンダに溶接する場合にひずみを最少にするため手早い酸素アセチレン溶接が採用される例である。この場合、プラズマアーク溶接や TIG 溶接は適当ではなく、電子ビーム溶接による施工は生産コストを数倍にするので不利で、酸素アセチレン溶接に及ばない。

Photo. 3 は特殊鉄製のエンジンシリンダヘッドのバルブポート間（弁間）熱疲労割れ防止のために、この部にダクティリティの高い Ni 系材料を酸素アセチレンパウダリートーチ溶接法によって盛付けたもので、完成に近い機械部品をひずみなしに施工することができる。この場合に TIG 溶接の採用も可能であるが、ひずみ量、割れ発生率ともガス溶接より不利である。

このように、機械部品の高精度・高能率溶接には一見縁遠いと思われがちのガス溶接も活用のし方によって他

の溶接方法にない効果を上げ得ることを再認識したい。

2.2.2 アーク溶接の活用

アーク溶接のひずみ防止、高精度化の進歩は意外に遅

い感じもあるが、やはりアーク溶接は手軽で経済性が高く、高精度継持の上でも成功した例が多い。

Photo. 4 は量産された車両用4サイクル12気筒クランクケースの溶接構成例で、アルミ合金鋳造品よりも軽量化した肉薄の張力骨格式構造³⁾で、この設計要領図をFig. 2 に示す。溶接ひずみは最大 1.4 mm とされ、メインベアリングキャップ取付インロー部(170)を基準とし、それより天井板までに 0.5 mm の縮みしろをとるが、上下左右各面は、2 mm 以下の仕上しろに計画されている。

また長手方向は、前後を含め7枚の隔壁があって、中央隔壁からそれぞれ 0.75 mm、全長で 4.5 mm の縮みしろがつけられる。なお関係位置精度 0.5 mm 以内の部分は原則として溶接前加工し、鋳造品の場合よりも大巾に機械加工時間を減らし、経済性を高め得ることも特徴である。

Photo. 2 エンジン水冷ジャケット

Photo. 3 シリンダヘッド弁座間ガス肉盛

Photo. 4 溶接構成12気筒クランクケース

Fig. 2 クランクケース溶接構成要領

Photo. 5 は船用2000馬力級2サイクル20気筒高速ディーゼル機関クランクケースの溶接構成例で、2サイクル方式であるため非常に複雑な構造になっているが、設計の基本的考え方は Fig. 2 の場合と類似である。このような大形で複雑な構造物のアーク溶接においても、縮みしろの設定、逆ひずみ法の採用などによって、いたずらに溶接後の機械加工しろを増すことなく、高精度に生産化することができる。

Photo. 5 溶接構成20気筒クランクケース

小型機械部品の精密溶接構成例として Photo. 6 にタービンのアーク手溶接例を示す。52枚の INCONEL 713C 製精密鍛造ブレードは Fig. 3 のようにオーステナイト鋼製ディスクに、さらにこれが SCM 製シャフトに溶接される。この場合、溶接割れを防止し、溶接精度を保つために、ブレードの位置きめ方法やシャフトとディスクの心出しに工夫が払われる。溶接棒は 19Cr-12Ni-9Mn 系チタニヤ型の活用が有利である。最近では、耐熱合金や超合金の溶接には電子ビーム溶接が採用されることが多いが、手アーク溶接や TIG または MIG 溶接により安価に十分目的を満足することもある。

このように、シグマ相生成を嫌う耐熱用途で超合金、耐熱鋼、低合金など異材を接合する場合には、Fig. 1 に示した超高張力鋼溶接の場合と同じく、溶加材には完全オーステナイト系で割れ感受性のとくに低い Cr-Ni-Mn の採用が有効で、オーステナイト溶着鋼の高温割れ原因になる CrS や NiS の生成を防止し、強じんな溶

Photo. 6 溶接構成タービンの例 (Fig. 3 による)

ブレード: INCONEL 713C
ディスク: YA2B-C
シャフト: SCM3

Fig. 3 溶接構成タービン例

接部が得られる点で Ni 基や Ni-Cr 系溶加材より有効である。

2.2.3 NC全自動アーク溶接の活用

被溶接物が複雑な構造を持つ場合に、TIG, MIG, または MAG 溶接を自動化することによって、効果的に品質を確保できることがある。この場合、溶接姿勢、アークスタート、溶接速度、溶接電圧、溶接電流、溶接始めおよび溶接終り、施工中の被溶接物の熱ひずみなどに対する処置が採られることは当然であるが、さらに、溶接中に起り得るアークノイズ、バーンバック、ワイヤ供給不具合、ガスフロー不具合など異状現象に対しても自動処理を行ない、しかもその後の作業続行に関する記憶を失わない配慮が必要である。また、補助指令機能も重要で、ポジション上における正しい溶接姿勢による溶融金属の流れ落ち防止、設定された数種の溶接条件中から適性条件の自動選定⁴⁾などによる工夫が払われる。

被溶接物の熱ひずみに対しては、対称2トーチによる同時溶接、入熱の多い部分を後半に施工するなど適性手順を採用した溶接線の単純化も行なわれる。

Fig. 4 NC溶接ノイズ防止回路の例

装置制御における弱電回路、とくに多量に活用される半導体集積回路ICの入力信号レベルは極低電圧であるため、アークなどによる種々の周波数を持つ高周波の重畳はICの誤作動に止らず破壊事故に連なるおそれもあるので、Fig. 4 に例示するような防止対策も必要である。

溶接の精度や精能を保つためには、溶接中の溶込み深さを一定にすることが必要で、溶接電流と溶接速度を一定に保持するためには定常電流で位置決めすることなく、Fig. 5 のように溶接電流調整を機械変動にマッチさせ、一段減速開始信号をNC回路から取出し、電流値を調整し、ホットスタートやクレータ処置を自動化する。

Fig. 5 NC溶接における送り速度と時間の関係

NC化の例として、装軌建設機械操向クラッチケースの高精度・高能率 CO_2 アーク溶接装置とその施工法を示す。Fig. 6 に示すテーブル移動形NC溶接装置は次の動作を5軸制御している。

Fig. 6 テーブル移動形7軸制御NC溶接装置

Fig. 7-(1) 操向クラッチケースNC溶接施工順序

位置	正面	側面	位置	正面	側面
① ② ③			⑫		
④			⑬ ⑮		
⑤			⑯		
⑥ ⑦ ⑧			⑰		
⑨ ⑩ ⑪					

(注) ①印はトーチを示す

Fig. 7-(2) 操向クラッチケースNC溶接施工順序

- ア X軸 テーブルの長手方向移動
- イ Y軸 溶接トーチ台の横手方向移動
- ウ Z軸 アームの昇降
- エ A軸 部品取付台の長手軸まわり回転
- オ C軸 部品取付台の垂直軸まわり回転
- カ X軸 トーチの旋回
- キ B軸 部品取付台の横手軸まわり回転

施工は実験値を加味して補正された正確なプログラミングパンチテープによって、Fig. 7 に示す被溶接物の溶接線①～⑥を同じく図示のトーチ方向に従って、ワンスイッチで実施する。

このように複雑な高精度溶接を能率よくNC自動化することができるが、トーチ、ポジショナ、溶接装置などの作動に時間がかかるので、工数の上では2～3機使用が望ましい。しかし、品質や精度は安定し、最大溶接ひずみもケース中心から±1mmに押え、効果は大きい。

2.2.4 電子ビーム溶接の活用

部品精度と性能を維持する代表的な電子ビーム溶接活用例として、タービンホイールとシャフトの異材溶接例を示す。超合金 INCONEL 713C は難溶接材であるが、真空度 10^{-4} の電子ビーム溶接では低合金との接合は比較的容易である。施工前の脱脂、脱じん、乾燥などを十分にし、シャフトのかん合部をプレス圧入し、たとえば次の施工条件で溶接性能と精度を保つことができる。

ア 仮溶接（予熱と振れのチェック）

加速電圧	30 kV
ビーム電流	15 mA
ビーム電圧	167 mA
溶接速度	700 mm/min

イ 本溶接

① の条件で一周し、ついで電流のみを 45 mA に引上げ施工

このような場合、シャフトに対するタービンホイール背面の振れは単品加工精度を高め、はめ合い寸法を管理することにより、0.01～0.03 mm とすることができる。注意すべき点は、Fig. 8 に示すような施工条件の選定

で、精度にとらわれて④～⑥のような細目のビードを採用すると、外見はよくても、わずかな位置ずれなどで、溶接は不完全になりやすく、ビードの盛り上りやスパッタが増加しない範囲で①～③の程度までビーム電流を高め、従って溶接速度をも上げることが品質を安定させる上で必要である。すなわち、最高の強度や精度を得るのではなく、適性な強さや寸法を得ることで、たとえば引張り強さ 75 kg/mm^2 以上というよりも、一定の範囲で $72 \sim 75 \text{ kg/mm}^2$ とするような規定の方がよい。

なおこのような異材溶接においては、溶融点が低く（約 1270°C ）、熱伝導率の悪い超合金が巾広く溶解するため、電子ビームを低合金側に強く当てるようにする。

Photo. 7 は自動車用伝導ギヤの専用電子ビーム溶接機で Fig. 9 に示す要領で1ロット8箇が溶接される。

このような場合も溶接前の条件を揃え、清浄や予熱などの措置を含めた管理を重視する。溶接ひずみも次の程度に押えることができる。

$$d_1 = 72\phi \pm 0.02 \quad d_2 = 54\phi \pm 0.02$$

Photo. 8 は小形機械部品の高精度溶接例で、(1) は窒化されたディーゼル機関燃料噴射弁の先端部に硬質異材を電子ビーム溶接で接合したもので、噴射孔の穴径は 0.12 mm である。(2) は肉厚 0.2 mm の Co 基合金

Photo. 7 自動車ギヤの専用電子ビーム溶接機

	①	②	③	④	⑤	⑥
ビーム電流 mA	150	130	120	100	80	65
溶接速度 mm/min	1000	900	800	650	550	450

T: タービン INCONEL 713C, S: シャフト SCM3

接合部: 内径 28φ, 外径 36φ

Fig. 8 タービンとシャフトの電子ビーム溶接部

Fig. 9 自動車伝動ギヤ電子ビーム溶接要領

Photo. 8 小形精密部品の電子ビーム溶接とレーザー溶接の例

を肉厚 0.35 mm の Ni 基合金製チューブに電子ビーム溶接して作るディフューザ部品である。(3)は参考として厚み 0.35 mm のベリウムブロンズ製時計用ギヤのレーザースポット溶接例で、スポットの直径は約 0.3 mm, 溶接ひずみは認められない。

このように小型高精度部品の溶接には、エネルギー密度をアークの約10倍に高めた熱源の活用も進んでいる。

2.2.5 摩擦圧接の活用

摩擦圧接は電子ビーム溶接に比較すると完成品溶接よりも粗材溶接に利用される傾向が大きい。機械部品の構成によっては電子ビーム溶接に劣る性状や精度が得られ、一般に製作費も低いことが多い。熔融溶接でないため有利な点が多いが、熔融溶接に慣れた設計者の中には、本質的に電子ビーム溶接に及ばない感じを持つ者も見られるが、電子ビームよりもはるかに溶接部の性状が良好で高精度や高エネルギーを得る場合も少なくない。

Fig. 10 はディーゼル機関予燃室噴口部(耐熱鋼)と本体(低合金鋼)の内部にかえりの出ない摩擦圧接完全接手例で、圧接後の切削加工なしに能率よく ± 0.05 mm の高精度の品質が得られる。この場合 Fig. 10 の

Fig. 10 予燃室摩擦圧接の要領

ように電子ビーム溶接を活用すると、耐熱材料は節約になるが、溶接コストは摩擦圧接の数倍になる。また抵抗溶接やろう接も可能であるが、コスト、精度、性状ともに摩擦圧接に及ばない。Photo. 9 は Fig. 10 により圧接された予燃室の断面を例示する。

Photo. 10 は重自動車用トラニオンソケットで、ベアリングの入る2個のピン(ボス)を球面仕上された本体に高い精度で摩擦圧接することによって加工費の低減をはかった例である。この場合に大切な問題点に治具の工夫があり、位置決めと剛性にとくに注意が必要である。

Photo. 9 ディーゼル機関予燃室の摩擦圧接 (Fig. 10 による)

Photo. 10 重自動車トラニオンソケットの摩擦圧接

Fig. 11 トラニオンソケット (左) と同溶接治具 (右)

Fig. 11 に工作要領と治具の状況を示すが、このような場合には完成品の高精度溶接を強行すべきで、溶接精度を恐れて半製品にしたり、溶接後に機械加工しろを付けたりすることは避けたい。

摩擦圧接の接合部は多少なりとも塑性変形を伴うので、必ずしも平面直角接手に限ることはない。圧接面積の広い場合にも斜め接手によって小客量の機械を活用して、高い圧接精度と、ばらつきの少ないすぐれた機械的強さが得られる。斜め接手を建設機械終減速ギヤに活用した例を Fig. 12 および Photo. 11 に示す。SCM-H1 製ピニオンギヤは、その軸に平行した SM41AP 製円板の穴にテーパ面をはめ込む。円板の穴部の塑性変形を利用して、くさびのようにはめ込まれ高精度に圧着される。このように円板の拘束力が大きいのはめ込み接手では、電子ビーム溶接など他の方法では割れが発生しやすく、事前浸炭も不能でメリットがない。この場合、適性角度、最大トルク、必要推力、寄りしろ、接合面の熱分布状況などは電算プログラムの活用⁶⁾によって算定確認され、さらに実測⁶⁾値とも照合の上で安全率の高い溶接条件の範囲が設定される。

必ずしも摩擦圧接だけではないが、機械部品の溶接性能を維持するのに、事後検査だけでは信頼性がない。摩擦圧接では一般に次の 4 要素に対して一定の精度で何らかのプロセスモニターが必要である。

加熱圧力 (Ph)   アプセット圧力 (Pu)
加熱時間 (Th)   アプセット時間 (Tu)

さらに、すえ込み量に対する時間の微分的モニターによって、すえ込み量と時間の相対関係が規定範囲から外れた Ph を調整して軌道修正を行なう制度も開発され、

Fig. 12 斜め接手摩擦圧接の機構

Photo. 11 接斜め圧接されたドライブピニオン

これらを摩擦圧接活用上の問題点として取上げることが強調したい。

2.2.6 各種溶接法の比較例

溶接方法を異にする場合にも、工夫によっては性能上類似の成果を得ることが少くない。いずれの施工法を導入すべきかは、品質目的に沿う範囲で生産量、設備費、

ランニングコストなどを検討して決定すべきである。

高級機械部品の溶接例として、小形タービンホイールとシャフトの異材溶接を例示する。Fig. 13 はその溶接の概要を、Photo. 12 は溶接後の溶接部外観を示す。精密鑄造された超合金 HS-31 製タービンホイールは、超仕上加工の容易ないわ快削鋼 SAE 1144CD と溶接されるが、材質の点からこの溶接は難接の部に属する。ここでは、MIG 溶接 (Ar+He)、摩擦圧接、電子ビーム溶接を利用し、それぞれの施工法の特徴がよく生かされている。軸中心に対するタービンの最大面振れは電子ビーム溶接で 0.16 mm、摩擦圧接で 0.18 mm、MIG 溶接では 0.36 mm で、いずれも溶接後の研削しろの範囲であるが、断熱のための中空室は摩擦圧接の場

Fig. 13 各種溶接法によるタービン溶接構成

Photo. 12 各種溶接法によって作られたタービンホイール

合に最も広く、MIG 溶接の場合が最も狭い。溶接コストは生産量によって違うが、月産量 500 に対して摩擦圧接が最も有利で、MIG 溶接、電子ビーム溶接の順になる。

2.2.7 今後の問題点

溶接技術は今日なお意外なほど一般的でない点があり、とくに精度の高い機械部品への適用では、活用を誤ったり進取性をなくしたりしやすい。機械部品の溶接範囲は広くなり、進歩もはげしい新旧技術の正しい活用には問題が増加している。

従来、いわゆる溶接施工技術者には金属材料関係の出身者が多く、溶接装置製作には機械や電気関係出身者が多い傾向にあったが、熱エネルギー密度の向上や、制御技術の進歩を含めて溶接技術は新しい方向に進みつつある。狭く深い専門的知識と設計や関連部門の広い技術との結びつけによる総合的な溶接技術のシステムとしての開発が最大の問題点となろう。

参 考 文 献

- 1) 荒城ほか: Quality assurance on the Friction welding process, The present state of Applications of EBW and FW Part 2, 1973 IIW Public Colloquium. p. 31~p. 51
- 2) E. Meyer & W. Hiller: Guide lines and references value of advantageously designing electron beam welding process, The present state of the Applications of EBW and FW, Part 1, 1973 IIW Public Colloquium. p. 73~p. 78
- 3) 機械溶接設計資料: 機械学会第 9 小委員会資料, 曲軸室
- 4) 荒城ほか: Development of Fully Automatic CO₂ Welding Equipments Applying NC Control Doc. No. IIW XII-B89-71
- 5) 荒城ほか: 同上
- 6) 荒城ほか: Study on the Friction Welding Applying Special Joint Doc. No. IIW III-410-71