

新素材接合への摩擦圧接法の適用 — 摩擦圧接法は古典的か？ —

篠田 剛

名古屋大学工学部

はじめに

今回摩擦圧接法を新素材接合に適用する例について紙面を与えられました。私が、最近開催されたドイツでの摩擦圧接に関する国際会議、英国溶接研究所の日本セミナーに出席したので私なりの知見を含めて、摩擦圧接法の新素材接合への試みを示したいと思います。

摩擦圧接は古いのか？

摩擦圧接法は、約40年の歴史を持つ接合法としてはどちらかといえば、古典的な部類に入る。そしてまた、溶融溶接法では到底溶接できない、非鉄材料と鉄鋼材料の組合わせも接合可能な優れた接合法であるにもかかわらず、地味な立場にある。数年前私自身レーザ溶接から摩擦圧接の世界に踏み込んだときに、第一印象はいかにもこの優れた特性を生かさないのはもったいないということでした。どうしてこのように地味なのか私なりに考えてみると、一つには自動車産業を中心にした大手の工場で管理され施工工程に導入されており、今までの技術の延長上で十分対処でき、技術的に大きな冒険をする必要がなく世間から注目されていないことと、今一つは中小企業を中心として工具鋼、あるいは特殊な材料の組合わせの圧接に適用され、その条件、ノウハウを秘匿する閉鎖的な体質によるものであると思われる。

例えば、溶融溶接で基本条件となっている溶接入熱の概念が、摩擦圧接を含む固相接合全般に無いことである。これは、各工場の条件を一元的に比較できないため固相接合発展の重要な阻害因子となっている。固相接合はプロセスが複雑であるが、この接合条件の一元化の壁を取り除かないと、新素材への摩擦圧接法の適用はもとより、古典的接合法のまま他の接合法にとって変わられるのではないかとと思われる。

極端条件の比較

新素材の接合を考えるとときにまず行われるのが、拡散接合の適用である。この分野での多くの知見が得られ実用化への道も開かれつつある。しかしながら、拡散接合と摩擦圧接法は接合条件が両極端な位置にある同種の接合法であるのではないかと思うので、その定性的な比較表を示す(表1)。接合界面に多くの場合拡散層を形成する両者は、雰囲気、接合圧力の違いはあっても、接合機構はほぼ共通している。このことは、両者の接合可能な異種材料の組合わせの表を見ると多くの共通点のあることから頷ける。また、

最近我が国で常温、低真空下で拡散接合を極低速回転の摩擦を行いつつ、界面での新鮮面を機械的に露出させる両者の折衷型ともいべき方法が提案され、今後の展開が期待できる。

表1 摩擦圧接と拡散接合との定性的比較

	摩擦圧接法	拡散接合法
接合温度	高い	低い
接合面圧力	高い	低い
接合面粗さ	粗い	平滑
雰囲気	大気圧	真空
接合時間	極短い	長い
接合部組織	微細化	粗大化

各国の状況

摩擦圧接法の新素材接合分野への展開を势力的に実施しているのは米国の研究者である。米国ではイナーシャ型の摩擦圧接を急冷凝固合金の接合を適用し成果を挙げている。米国と欧州では圧接法の適用分野が異なるが、ここでは予算規模が公表されている所員400名の欧州最大の英国溶接研究所の例を示す(図1)。この図によると、先端的と言われるレーザ部門より摩擦圧接・抵抗溶接の方が予算的には多いといえる。同研究所では、大小10台以上の圧接機を有し、研究としては新摩擦圧接法の開発を中心に、大型化、非対称性材料の圧接、金属系新素材への適用を図っており、セラミックス・金属あるいはプラスチックへの適用についてもある程度の成果が公表されている。また金属系材料の接

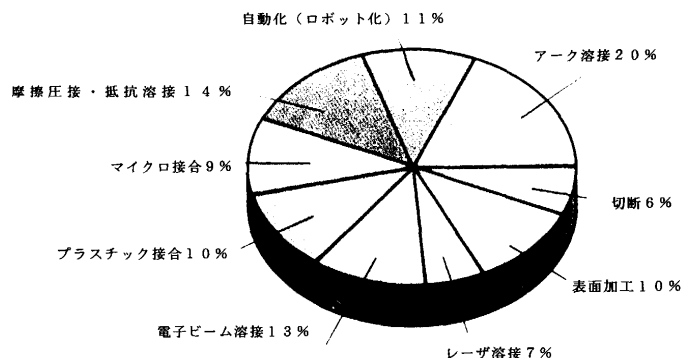


図1 英国溶接研究所の予算配分 (プロセス関連のみ, 1990年)

合のマイクロ化も検討されており、20,000rpmといった高速回転による直径1～2mmの部材の圧接に成功している。これは電子部品のヒートシンクへの適用の可能性を示している。この状況は平成4年11月東京で開催された同研究所セミナーで概況が発表され、研究所の活動に強い印象を持った。

新素材への適用

〈形状記憶合金など新素材への適用〉

金属間化合物、メカニカルアロイあるいは急冷凝固合金などは、従来の溶融溶接法では溶接性の悪い材料として指摘されている。著者自身、Ni-Ti系の形状記憶合金の溶融溶接としてレーザ溶接を試みてきた。この結果記憶特性はほぼ母材なみ程度となるが、引張破断強度は母材の70%程度で使用上問題があった。一方摩擦圧接法では記憶特性も母材と同じであり、かつ母材での引張破断となった。この原因は、摩擦圧接法が接合界面で熱間捻り加工を伴い結晶粒微細化の効果が大きいことによる。この接合過程の結晶微細化は、他の溶融溶接あるいは固相接合では得られない特筆すべき優れた特性である。

メカニカルアロイの接合でも、電子ビーム溶接では溶接部の割れ、気孔生成の問題があるが、摩擦圧接法では無欠陥で接合が可能なが指摘され始めている。

米国では、アルミニウムの急冷凝固合金のイナーシャ型の摩擦圧接法の適用が盛んである。アルミニウム系複合材料の摩擦圧接に関する大型プロジェクトも北欧を中心に推進されていて、日本以外の各国で新素材の接合は摩擦圧接法が重要な位置を占めている。一方我が国では新素材の接合は拡散接合を中心とした展開となっている。表1で説明したように両接合法は見かけ上大きな相違はあるが同種の接合法として捕らえる時、日本と諸外国でのアプローチの差異は興味深い点である。

〈金属セラミックス〉

金属・セラミックスの摩擦圧接による直接接合は、我が国が先鞭をつけ、セラミックス・金属ボルトのように実用化一步手前まで開発研究が行われているものもある。海外では英国溶接研究所あるいはベルファスト大学で研究が進展しているようである。結果はお互いに矛盾した点もあるが、窒化物系セラミックスとアルミ系合金の直接圧接は可能であるが、鉄鋼材料との摩擦圧接は困難な点が多いと思われる。酸化物系のセラミックスと金属材料の摩擦圧接は可能であるとの印象もあるが、今後の展開が期待される分

野の一つである。

摩擦圧接法をセラミックスあるいは金属間化合物のように脆化材料に適用できる可能性は、圧接過程の機械的な界面活性化と単純な軸方向の熱流および円周方向の非常に高い圧縮の残留応力の発生により、割れなどの欠陥を防止しやすい点にある。我々はこの高い圧縮の残留応力により、脆い金属化合物Ti-Aiあるいは鋳鉄の同種材の摩擦圧接が可能であることを確認している。

〈摩擦圧接法を利用した表面創製法〉

我々は摩擦圧接法の応用として、固相状態での表面創製の実験を行っている。これは、摩擦発熱している時に、板状試験材を移動させることにより、板表面に膜厚1mm幅20mm程度の希釈の無い金属皮膜を形成させることを示してきた。この膜厚は溶射と溶接肉盛の中間に位置し、表面創製法としては新しい分野である。固相接合の一種であるので、基材上に複合材料を表面創製することも可能であり、アルミ・鋼の組み合わせも可能と思われる。

今後の展開

摩擦圧接法は今後一層の展開が望めるプロセスであるが、多くの長所と欠点を含んでいる。長所については、上述したが、解決すべき欠点としては継手の靱性改善であろう。摩擦圧接継手の静的強度は母材程度であり、疲労強度は母材と同等以上のデータが多いようである。しかしながら、衝撃試験では切欠きが界面上に位置することもあり、一般に衝撃値は母材を下回る。これが、摩擦圧接法が機能性材料の分野で多くの難接合性材料の接合に成功しながら、構造材料接合への展開が図れない最大の理由と思われる。この弱点は固相接合一般について言えることでもあり、従来の溶融溶接で行ってきた評価法が固相接合の分野に適用することが妥当かどうか考える時期に来ているのかも知れない。ちなみに、ASMEでは、この弱点があるにもかかわらず、摩擦圧接法のボイラ製造への使用が認められているようである。

結論

摩擦圧接法がイメージとしてはいかにも古典的であるが、意外に新素材の接合に適しており、電子ビーム溶接あるいはレーザ溶接のように先端的熱源とされる方法より、ある面では優れた特性を有している。今後摩擦圧接の研究人口の増加を願わずにはおられない者として、本文がその一助となれば幸いです。