

(十八) 溶接に係る技術に関する事項

1 溶接に係る技術において達成すべき高度化目標

(1) 当該技術の現状

溶接に係る技術（以下「溶接技術」という。）は、一般には二つの素形材の重ね合わせ部等において、接合する部分を熔融状態にし、必要に応じて溶加材を補充しながら凝固させて接合する方法（融接法）が広く利用されている。

融接の方法には大きく分けて、ガスの燃焼エネルギーによって金属を熔融し接合するガス溶接、アーク放電によって生じるアーク熱を利用して金属を熔融し接合するアーク溶接、接触部を通電させた際に生じる抵抗熱によって金属を熔融し接合する電気抵抗溶接がある。また、高速電子ビーム流を高真空や低真空中におかれた溶接物に照射して熔融し接合する電子ビーム溶接、レーザ光をレンズで集束して材料に照射して熔融し接合するレーザ溶接等の精密溶接も注目されている。

そのほかに金属を接合する方法としてはろう接がある。ろう接とは、接合したい金属と金属の間に溶かした金属（ろう）を満たして接合する方法であり、ろう接に用いる金属の融点によって、ろう付けとはんだ付けに分類される。さらに、熔融金属を用いない素材同士を固体のまま接合する固相接合がある。融接法では脆弱な溶接となる難接合材や異材の接合に対応した技術として、固相接合の一種である摩擦圧接が注目されている。

これらの溶接技術は構造物等を製作する上で不可欠な技術であり、溶接部に発生した欠陥による破壊を防ぐ技術的な取組が積極的に行われている。溶接材料・溶接機の開発、自動化等の技術開発と応用により、溶接技術の信頼性は大幅に向上している。また、溶接能率向上によるコスト削減等に対しては、多電極溶接・レーザとアークの組み合わせ溶接（ハイブリッド溶接）等、新たな技術も開発され実用化されている。近年では、固相接合の一種で、高速回転のピンを接合部に挿入し、摩擦熱で接合材を高温に加熱するとともに軟化した両金属を混合させる摩擦攪拌接合（FSW）の開発が進められ、主に鉄道車両や自動車等に用いられるアルミニウム構造材への導入が進んでいる。

溶接技術における主な川下製造業者等の産業分野としては、自動車、建設機械、発電、工業用等プラント、鉄道・船舶・鉄鋼構造物・橋梁等、航空・宇宙、電子機器等が挙げられる。

(2) 当該技術の将来の展望

溶接技術は今後、溶接部の品質に対して一層高い信頼性が要求されるとともに、溶接能率の向上、自動化の促進、作業環境の改善が進められる。

他方、前述のとおり、摩擦攪拌接合は、運輸機器のアルミニウム構造材への導入が進んでいるが、アルミニウム以外の材料の接合及び異材接合に対し、当該技術の利用が可能となれば接合技術が大きく変化し、作業効率・環境対策等の向上への貢献が期待できる。今後、摩擦攪拌接合等の新しい接合・溶接プロセスの開発が急速に進み、幅広い材料を対象とした新溶接・接合技術と従来からの溶接技術の使い分けが、実機で適用されることが期待される。

(3) 川下分野横断的な共通の事項

当該技術の川下製造業者等が抱える共通課題及びニーズ並びにそれらを踏まえた高度化目標を以下に示す。

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア. 品質及び信頼性の向上

快適性や安全性、環境対応等に対するユーザーからの要求仕様の高度化に対応し、安心・安全を確保するための品質及び信頼性の向上が求められている。そのため、構造物の構成部材については、高い精度や強度等が求められるだけでなく、性能を確実に保証するために、溶接技術及び品質管理技術の向上へのニーズが高まっている。さらに、特殊合金溶接部、薄板化に伴う薄板構造部材の溶接部、新材料（複合材採用等）の新しい接合プロセス開発と接合部の信頼性の向上等も課題となっている。また、構造物の高機能化、小型化、軽量化等が進展したことにより、製品の構成部材に対する熱や摩擦等の負荷が高まっている。

コスト面で優れた新興国製品との差別化を図り市場競争力を維持するためには、信頼性を重視し、過酷な環境下においても耐久性を維持した上で、安定した機能を発揮し続ける部材に強化することが求められる。特に、インフラ関連機器や構造物等については、メンテナンスに係る負担を低減し長期間使用に対応可能とすることで、ユーザーのイニシャルコストのみならず、ランニングコストを含めた総合的なコストの低減につながる。そのため、長寿命化による信頼性向上は重要な課題となっている。

イ. 製造コスト削減及び短納期化

近年、成長市場として新興国が注目を集めているが、同市場を開拓していく上では、日本市場や先進国市場向けの製品とは異なる仕様の製品を、低コストで供給することが求められている。

また、サプライチェーン・マネジメントを強化するほか、3次元CAD、成形シミュレーション、現象解析シミュレーションの活用により開発期間を短期化する動きが強まっている。

ウ. 作業環境の改善

快適な職場づくりは、あらゆる産業において労働災害の防止にとどまらず、人材の確保を円滑なものとするためにも重要な課題となっている。特に、ものづくり基盤技術に係る産業の製造現場は人手に頼る要素が比較的多く、作業環境の改善に向けた取組が重要である。

エ. 革新的製造プロセスの開発、生産方式の高度化等のプロセスイノベーション

環境負荷低減の強化、地球環境問題に対する世界的な認識の高まり、グローバル競争の激化を背景に、省資源・省エネルギー等、一層のコスト削減が求められている。これらを実現するための生産工程及び生産方式の効率化、品質の安定化や高品質化等が求められている。また、今後、革新的製造プロセスの開発により、容易に追従できない接合技術等の確立により国際競争力を強化する必要がある。

②高度化目標

ア. 機械的特性の向上

溶接部の劣化・脆化を抑制し、強度、靱性、疲労強度、耐クリープ性を向上させることによる溶接部破壊の防止が求められる。

イ. 溶接精度の向上（溶接変形低減）

溶接変形は構造物の美観を損なうだけでなく、初期不整として構造性能の低下をもたらすおそれがある。このため、溶接歪の低減技術による溶接精度の向上が求められる。

ウ. 部品加工工数削減のための溶接技術の向上

川下製造業者等においてはコストダウンと納期短縮化に対応するため、部品の加工工数の削減が望まれている。溶接技術の更なる向上による部品加工工数の削減の貢献が求められる。

エ. 複合機能付与技術の向上

環境対応の自動車や輸送機器においては、軽量化とともに熱伝導特性、電気伝導特性の向上等の異種金属材料の接合により複合機能を付与する技術の向上が求められている。

オ. 作業環境の向上

溶接作業で金属を溶かし接合する際に発生する溶接ヒュームは細かい金属の粉じんである。溶接ヒュームを長期間にわたって吸入した場合には人体への影響が懸念されることから、溶接ヒュームの抑制が求められる。

カ. 難接合材の溶接技術の向上

機械製品の高機能化、小型化、軽量化等の進展により、構造物を構成する部材には新機能を保持し、かつ接合が難しい新素材等が多用されている。この難接合材の溶接技術の向上が求められる。

キ. 溶接ロボット等の自動化・省人化機器の機能向上

溶接施工を一層自動化するためには、溶接ロボット等の繰り返し精度向上、高速化、小型、軽量化、操作の簡略化、安全性の向上、高精度かつ高信頼性センサの開発とともに機器・装置の低廉化が求められる。

ク. 溶接部診断技術・検査技術の向上

溶接部の欠陥診断技術、検査技術を向上させ、溶接部を有する構造物の信頼性や品質の更なる向上が求められる。さらに、非破壊検査技術の専門的知識の少ない事業者を考慮した、簡便な非破壊検査技術及び非破壊検査設備の向上が求められている。

ケ. 新しい溶接・接合プロセスの実現と応用

上記ア～クの各項目に対して、摩擦攪拌接合等の新しい溶接・接合プロセスが関連する可能性が強く、広範囲な材料への応用に対する技術が期待されている。

(4) 川下分野特有の事項

当該技術の川下製造業者等が抱える特有の課題及びニーズ並びにそれらを踏まえた高度化目標を以下に示す。

1) 自動車に関する事項

近年、化石燃料依存からの脱却、地球環境問題に対する認識が世界的に高まっており、自動車分野では、燃費向上及び省資源化のための軽量化、衝突安全性の高い軽量合金板及び軽量で信頼性の高い基幹部品等、溶接加工品に対するニーズに対応しつつ、品質の安定化を実現

するための、溶接条件等の最適化及び溶接工程の高度化が求められている。また、今後ますます増加する環境対応車においては、高張力鋼、アルミニウム合金等、溶接や熱加工の困難な材料が使用されるが、これら材料の補修溶接には、可能な限り低入熱で材質変化及び溶接変形が小さい溶接方法の確立、溶接条件の最適化が求められている。

一方で、近年のグローバル競争下で我が国の自動車産業が生き残るために、より低コストで高品質を実現するための生産工程の実現が求められている。

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 燃費向上及び省資源化のための軽量化

イ. 衝突安全性の向上

ウ. 補修技術の向上

②高度化目標

ア. 溶接加工品の品質安定化のための溶接条件等の最適化及び溶接工程の高度化

イ. 補修溶接技術向上のための溶接機器の開発と溶接条件の最適化

2) 建設機械に関する事項

建設機械分野については、排ガス規制、省資源・省エネルギー等の多様化するニーズ等への対応のための新規製品開発を始め、デザイン変更等や一層のコスト削減を図るための生産工程及び生産方式の効率化、切削加工部品の溶接構造化、品質の安定性向上、高品質化等が求められている。

一方、建設機械分野は、コスト高となる場合であっても、常に建設現場等の作業員の安全性確保が重要課題である。当該分野において、溶接技術は、トンオーダーの重量物の厚板接合や部品を構成する加工品同士の接合を行う重要な加工技術である。さらに、溶接工程の自動化・ロボット化の拡大、レーザ溶接等の新しい溶接技術の進展等の背景から、複雑構造の部品加工における切削加工等工程の大幅な削減をもたらす可能性も有している。

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 建設機械設計ニーズの多様化

イ. 自動溶接化の推進

②高度化目標

ア. 溶接ロボットの高精度化、高速化、教示方法等操作性・機能性の向上

3) 発電、工業用等プラントに関する事項

発電、工業用等のプラントは、電力、化学、製鉄を始め広範な産業分野に及んでいるが、プラントを構成する原動機、ボイラ等の機器類、圧力容器、排給水配管、ガス等の輸送導管や施設等の構造物の製造・建設施工において溶接技術は極めて重要である。これらプラントは国際的な競争が激しく、品質、性能、信頼性、安全性の維持向上に加え、コスト削減への努力が一層求められている。

さらに、近年、風力発電や太陽光発電等自然エネルギー利用の発電システムが注目されており、これらの高寿命・高信頼性プラント製造のための溶接プロセスの開発が求められている。

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 製品の使用条件の高温化、極低温化、高圧化等高性能化ニーズへの対応

イ. 長期供用性の確保及び向上

②高度化目標

ア. 溶接補修及び施工技術の向上

イ. 溶接部の経年変化評価技術及び寿命予測技術の向上（非破壊検査技術等を含む）

4) 鉄道・船舶・鉄鋼構造物・橋梁等大型構造物に関する事項

鉄道・船舶・鉄鋼構造物・橋梁等については、海洋等の使用環境、地震等の災害、事故、経年変化、脆性破壊等の不安定破壊に対する安全性の確保が極めて重要な課題となっている。さらに、近年、これらの大型化や高速化に伴い、より高強度かつ高靱性な高性能鋼材の使用が求められている。

また、鉄道や船舶の国際競争の激化、鉄鋼構造物や橋梁等の大型化等により、製造コストや建設コストの削減努力が一層求められている。特に、船舶分野では製造工程の工数削減と省人化、鉄鋼構造物・橋梁分野では初期建設コストや維持コストを含めたライフサイクルコストの低減要求により、錆、無塗装等に対応した鋼材の使用が求められている。

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 長期供用性の確保、向上

イ. 車両の軽量化及び性能向上（鉄道）

ウ. 大型化、耐環境性向上等の製品ニーズへの対応（船舶・鉄鋼構

造物・橋梁等)

エ. 非破壊検査技術の向上 (船舶・鉄鋼構造物・橋梁等)

②高度化目標

ア. 溶接の自動化・省人化技術の向上

5) 電子機器に関する事項

電子デバイス分野において、半導体を組み込む基盤には過酷な環境下での信頼性、高集積化による小型化及び高機能化等が求められている。さらに、電子デバイスの高性能化、大容量化、高速化等のための微細化、高集積化も恒常的な課題である。

また、国際的な競争が極めて厳しい分野であり、コスト競争も激しい。さらに、マイクロ、ナノといった超極小スケールの微細加工技術も電子デバイスやセンサ類、各種スイッチ、発信器等の商品化という形で応用されている。

一方、デバイスの実装技術であるはんだ付けについては、人体に有害な物質である鉛を使わない鉛フリー化が求められている。

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. L S I の高密度化・三次元実装化に対応する溶接技術の向上

イ. 鉛フリーはんだの適用技術の拡大

ウ. 全自動ソルダリング機器の適用範囲の拡大

エ. 微細加工における接合・溶接技術の向上

②高度化目標

ア. 鉛フリーソルダリング技術の信頼性向上

イ. 利便性、汎用性及び耐久性の高い自動ソルダリング機器の開発並びに適用

ウ. ソルダリングに代わるレーザ等細密接合技術の開発

エ. 過酷環境 (高・低温、振動等) 下における信頼性の向上

2 溶接技術における高度化目標の達成に資する特定研究開発等の実施方法

溶接技術に求められる技術開発の方向性を6点に集約し、以下に示す。

なお、以下の6つの技術開発課題に掲げた個別の研究開発テーマの中には、必ずしも、1つの技術開発課題の向上のみにつながるのではなく、複数の技術開発課題の向上につながるものもあることに留意する必要がある。例えば、軽量化に資する溶接技術の研究開発は機械的特性の向

上に対応した技術開発の方向性の中に掲げているが、コスト削減に対応した技術開発の方向性の中に掲げることも可能である。

(1) 機械的特性の向上に対応した技術開発の方向性

①溶接技術

軽量化、摩擦攪拌等の摩擦熱利用による適用範囲拡大、高強度・高靱性化、溶接構造精度向上、スパッタレス化、難接合材（めっき鋼板、アルミニウム材、異種金属材等）、耐高温・耐低温・耐腐食材料、微細化

②特殊材料溶接技術

熱変形の少ない高強度鋼板溶接、溶接割れ等が生じにくく施工性の高い高強度鋼板溶接、ニッケル基合金溶接部靱性の向上（供用中に靱性の低下がない）、高クロム鋼溶接金属の靱性の向上、極低温用非磁性材溶接

③その他機械特性の向上

(2) 溶接品質及び信頼性の向上に対応した技術開発の方向性

①溶接技術

溶接条件最適化（溶接条件データベースの精度、溶接シミュレーションの信頼性等）、溶接品質保証（溶接現象の可視化、溶接条件インプロセスモニタリング、溶接結果の良否判定、制御等）、裏波形状制御溶接（配管減肉検査の効率化等の裏波溶接ビード形状の形成方法）、溶接継手の疲労強度、溶接残留応力及び溶接歪の低減可能な溶接法及び溶接施工条件

②非破壊検査

表面欠陥の認識及び良否判定、内部欠陥の認識及び良否判定

③高温部、厚板、複雑形状部等の検査

④溶接材料技術

低炭素ステンレス鋼溶接金属の耐応力腐食割れ性向上、二相及びフェライト系ステンレス鋼の溶接性・溶接継手特性の改善、非破壊検査性の良好なオーステナイト系ステンレス鋼溶接、高効率溶接が可能なニッケル基合金溶接

⑤その他溶接品質及び信頼性の向上

(3) 熱伝導、電気伝導特性付与技術の向上に対応した技術開発の方向性

- ①大面積接合
- ②異種材料（異種金属、金属＋非金属）接合

（４）耐経年変化に対応した技術開発の方向性

- ①高精度寿命評価
- ②温度上昇に対応するクリープ強度向上
- ③熱時効脆化傾向が低いステンレス鋼溶接金属
- ④材質の経年変化計測
- ⑤耐経年変化

（５）コスト削減に対応した技術開発の方向性

①溶接技術

部品点数削減、仕上げ加工及び溶接不良補修の低減、溶接能率向上、薄板の耐ギャップ裕度の拡大、継手・組立て精度の向上、高剛性化及びシール性向上のための連続溶接、精密溶接法による鉛フリー実装、溶接工程の最適化（溶接工程シミュレーション、溶接治具の知能化等）

②材料技術

高強度鋼板溶接、大型厚肉耐熱部材溶接、長寿命電極

③その他コスト削減

（６）溶接作業の自動化等作業性の向上に対応した技術開発の方向性

- ①新アーク溶接
- ②アーク溶接と他溶接法とのハイブリッド化
- ③超小型加工ツール（溶接機器・装置、センサ・モニタリング装置）
- ④ロボット溶接の高精度化、高速化、操作性向上
- ⑤溶接施工法、溶接材料、溶接機器
- ⑥ヒューム発生量の低減化等の作業環境改善
- ⑦品質向上（薄板鋼板の重ね継手の高品質溶接、検査、継手倣い等）
- ⑧中厚鋼板に対するＴ継手及び突合せ継手の高能率・高品質化、すみ肉ビード形状の高品質化、非破壊検査、長尺溶接設備関連
- ⑨中厚鋼板の全姿勢溶接、装置及び検査、現地溶接装置の要素開発、全姿勢高能率溶接
- ⑩厚板に対する溶接ロボット要素
- ⑪基本データベース構築・確立、シミュレーション技術との連携等溶接条件・施工方法データベースの共通化

- ⑫小型、高精度、操作性良好、低廉な非破壊検査
- ⑬作業者保護のための安全確保
- ⑭その他作業性の向上

3 溶接技術において特定研究開発等を実施するに当たって配慮すべき事項

厳しい内外環境を勝ち抜く高い企業力を有する自律型中小企業へと進化するためには、中小企業者は、以下の点に配慮しながら、研究開発に積極的に取り組み、中核技術の強化を図ることが望ましい。

(1) 今後の溶接技術の発展に向けて配慮すべき事項

①産学官の連携に関する事項

川下企業、関連産業、公設試験研究機関、大学等と積極的に連携し、事業化に向けたニーズを把握しつつ、独創的な研究・技術開発を行うことが重要である。その際、自らが有する技術についての情報発信を適切に行い、円滑に研究開発が進むよう努めるべきである。

②人材確保・育成及び技術・技能の継承に関する事項

技術力の維持・向上に必要な人材の確保・育成のために、若手人材のリーダーへの育成に努めるとともに、ベテラン技術者とのペアリングによる研究管理等により、技術・ノウハウを若年世代へ円滑に継承していく必要がある。

③生産プロセスの革新に関する事項

製品開発過程においても、常に自動化、省エネルギー、省スペースといったプロセスイノベーションを意識する必要がある。また、自由度の高い製造工程と生産性の向上を目指し、研究開発段階においても、積極的にIT活用を図ることが望ましい。

④技術体系・知的基盤の整備、現象の科学的解明に関する事項

公的機関が提供する標準物質・計量標準等の知的基盤を有効に活用しつつ、計測技術及びシミュレーション技術を用いて、自らの技術や技能の科学的な解明に努めるとともに、技術や技能のデータベース化を図りながら技術体系を構築していくことが重要である。

⑤知的財産に関する事項

自社が有する知的資産を正しく認識するとともに、公開することによって独自の技術が流出するおそれがある場合を除き、適切に権利化を図る必要がある。

川下製造業者等は、中小企業者と共同で研究開発等を行う場合に

は、事前に知的財産権の帰属、使用範囲等について明確に取決めを行うとともに、中小企業者が有する知的資産を尊重すべきである。

(2) 今後の溶接業界の発展に向けて配慮すべき事項

①グローバル展開に関する事項

積極的に海外市場の開拓を図るために、ターゲットとなる市場のニーズに応じた製品開発を進める必要がある。海外展開を進める際には、競争力の源泉となる技術の流出防止を徹底することが重要であり、流出の懸念がある技術についてはブラックボックス化を進める等の対策を講じるべきである。

②取引慣行に関する事項

中小企業者及び川下製造業者等は、受発注時における諸条件やトラブル発生時の対処事項等について契約書等で明確化することが望ましい。また、下請代金の支払遅延や減額等の禁止行為を定めた下請代金支払遅延等防止法や、取引対価の決定や下請代金の支払い方法等について、親事業者と下請事業者のよるべき基準を示した、下請中小企業振興法に定める「振興基準」を遵守し取引を行わなければならない。

③サービスと一体となった新たな事業展開に関する事項

単なる製品の提供に留まらず、ユーザーや市場ニーズを満足させるサービス・機能・ソリューションの提供を目指した研究開発を進めることが重要である。

④事業の継続に関する事項

自社の人材、インフラ、取引構造等について日頃から正確に把握し、災害等が発生した場合の早期復旧とサプライチェーンの分断防止のため、危機対処方策を明記した事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）を予め策定しておくことが重要である。

⑤計算書類等の信頼性確保、財務経営力の強化に関する事項

取引先の拡大、資金調達先の多様化、資金調達の円滑化等のため、中小企業者は、「中小企業の会計に関する基本要領」又は「中小企業の会計に関する指針」に拠った信頼性のある計算書類等の作成及び活用に努め、財務経営力の強化を図ることが重要である。