

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-11845

(P2016-11845A)

(43) 公開日 平成28年1月21日(2016.1.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 C 19/32 (2006.01)	G 2 1 C 19/32 W	4 E 0 0 1
B 2 3 K 9/00 (2006.01)	B 2 3 K 9/00 5 O 1 S	4 E 0 8 1
B 2 3 K 9/02 (2006.01)	B 2 3 K 9/02 S	
B 2 3 K 9/16 (2006.01)	B 2 3 K 9/00 1 O 9	
B 2 3 K 9/167 (2006.01)	B 2 3 K 9/16 J	
審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 33 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2014-132282 (P2014-132282)
 (22) 出願日 平成26年6月27日 (2014. 6. 27)

(71) 出願人 507250427
 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
 茨城県日立市幸町三丁目1番1号
 (71) 出願人 000231235
 大陽日酸株式会社
 東京都品川区小山一丁目3番26号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 多羅沢 湘
 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立GE
 ニュークリア・エナジー株式会社内
 (72) 発明者 今永 昭憲
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法及びその溶接装置

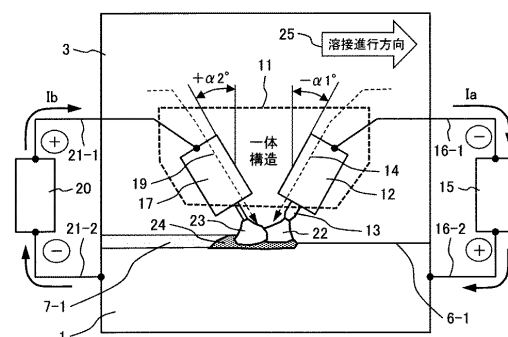
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】銅と銅との異材継手の溶接性に優れ、十分な大きさののど厚を有する品質良好な溶接部を得ると共に、除熱性能の向上及び製造コストの低減にも有効な金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法およびその溶接装置を提供する。

【解決手段】TIG溶接電源15から給電する第1の溶接電流IaとMIG溶接電源20から給電する第2の溶接電流Ibとの比Ia/Ibを所定の範囲で出力させ、先行TIGの非消耗電極13に流れるIaと後続MIGのCuSiワイヤに流れるIbとで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合うTIGアーク22とMIGアーク23を隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う前記TIGアークとMIGアークで1つの溶融プール24を形成させ、前記TIGアークとMIGアーク及び前記1つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工する。

【選択図】図9

図 9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射性物質を有する使用済燃料の集合体を収納する鋼製の内筒の外面と、該内筒の外側に同軸状に配置する鋼製の外筒内面との間に、略等間隔に傾斜配備する所定枚数の鋼製の伝熱銅フィンの両端面部を各々溶接する際に、前記内筒の外面の長手方向に前記伝熱銅フィンの片方端面部を突合せて形成された前記内筒側の広角傾斜の隅肉継手部、又は前記外筒の内面の長手方向に前記伝熱銅フィンの他方端面部を突合せて形成された外筒側の広角傾斜の隅肉継手部、若しくは前記内筒及び外筒の両面に形成された隅肉継手部に、先行 T I G と後続 M I G との複合溶接によって溶接施工する金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

10

溶接すべき前記隅肉継手部の溶接線に対して、前記先行 T I G と前記後続 M I G との複合溶接が可能な一体構造の T I G - M I G 溶接トーチと、前記後続 M I G 側の消耗ワイヤにシリコン入りの C u S i ワイヤとを用い、前記 T I G - M I G 溶接トーチを走行移動可能な長尺アームの先端部又は多関節可動式の溶接ロボットの手首部に取付治具を介して取付けると共に、前記先行 T I G の非消耗電極の極性を負極とし、前記隅肉継手側の極性を正極とした給電を T I G 溶接電源で行い、一方、前記後続 M I G の C u S i ワイヤの極性を正極とし、前記隅肉継手側の極性を負極とした給電を M I G 溶接電源で行い、かつ、前記 T I G 溶接電源から給電する第 1 の溶接電流 (I_a) と前記 M I G 溶接電源から給電する第 2 の溶接電流 (I_b) との比 (I_a / I_b) を所定の範囲で出力させ、前記先行 T I G の非消耗電極に流れる前記第 1 の溶接電流 (I_a) と前記後続 M I G の C u S i ワイヤに流れる前記第 2 の溶接電流 (I_b) とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合う T I G アークと M I G アークを前記隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う前記 T I G アークと M I G アークで 1 つの溶融プールを形成させ、前記 T I G アークと M I G アーク及び前記 1 つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

20

【請求項 2】

請求項 1 に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記 T I G 溶接電源から給電する第 1 の溶接電流 (I_a) と前記 M I G 溶接電源から給電する第 2 の溶接電流 (I_b) との比 (I_a / I_b) は、 0.8 ~ 1.2 の範囲であることを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

30

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記隅肉継手部の溶接線の溶接開始位置で、前記 T I G - M I G 溶接トーチ先端部の開口部から A r ガスと H e ガスとの混合ガスからなるシールドガスを流出させながら、前記先行 T I G の非消耗電極と前記隅肉継手部との間に負極の前記 T I G アークを発生させ、かつ、前記第 1 の溶接電流 (I_a) を定常値まで到達させた直後又は所定時間経過後に、前記後続 M I G の C u S i ワイヤと前記隅肉継手部との間に正極の前記 M I G アークを前記 T I G アークの後方に発生させると共に、前記第 2 の溶接電流 (I_b) を定常値まで到達させ、相互に反発し合う前記 T I G アークと M I G アークで前記 1 つの溶融プールを前記隅肉継手部の溶接開始位置に形成させた直後又は所定時間経過後に、前記 T I G - M I G 溶接トーチを走行移動させながら、前記先行 T I G と前記後続 M I G との複合溶接を前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

40

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記 T I G - M I G 溶接トーチを走行移動可能な長尺アームの先端部に配置する場合には、前記 T I G - M I G 溶接トーチの前方位置で、かつ、前記隅肉継手部の溶接線から所定の距離だけ離れた前記伝熱銅フィンの表面部と前記内筒側の表面部又は前記外筒側の表

50

面部との両面に接触回転動するように、回転移動可能なガイドローラを前記長尺アームの下側に配備し、前記ガイドローラの接触回転動によって前記TIG-MIG溶接トーチを溶接線方向へ走行案内させながら、前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接を前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記隅肉継手部の溶接線方向に配置する前記TIG-MIG溶接トーチには、前記先行TIGの非消耗電極、前記後続MIGのCuSiワイヤとそのワイヤ通路及びシールドガス通路が配備され、かつ、溶接線の鉛直線に対して前記先行TIGの非消耗電極は、溶接進行方向と逆方向側に0～45度の後退角度範囲で傾斜配置していると共に、前記後続MIGのCuSiワイヤは、溶接進行方向側に15～45度の前進角度範囲で傾斜配置され、しかも、前記非消耗電極の先端部と前記CuSiワイヤの先端部との距離間隔は3～9mmの範囲に配置され、溶接制御機器による長尺アームの走行指令、TIG溶接電源及びMIG溶接電源への出力指令によって、前記TIG-MIG溶接トーチの走行動作及び溶接動作を実行させながら、前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接を前記隅肉継手部の溶接線の溶接開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

10

【請求項6】

20

請求項1乃至5のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

溶接すべき前記内筒側の前記伝熱銅フィンの片方端面部と隅肉継手部又は前記外筒側の前記伝熱銅フィンの他方端面部と隅肉継手部の角度 θ_1 、若しくは前記内筒と外筒の両面に形成された前記伝熱銅フィンの両方端面部と隅肉継手部の角度 θ_1 は、前記内筒の外面又は前記外筒の内面若しくは前記内筒と外筒の両面に対して、 $\theta_1 = 120 \pm 15$ 度(105～135度)の範囲であり、前記内筒側又は前記外筒側の傾斜角度 θ_2 は、水平線に対して、30度±15度(15～45度)の範囲に配置され、前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接によって前記隅肉継手部の溶接線の溶接開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

30

【請求項7】

請求項1乃至6のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記伝熱銅フィンの両端面部が平坦面形状の伝熱銅フィンを用いた前記隅肉継手部の溶接線に前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接を施工する際には、前記伝熱銅フィンの端面角部b点から前記伝熱銅フィンの表面側に前記TIG-MIG溶接トーチの位置をシフトさせる第1の距離 S_1 は0～4mmの範囲であり、若しくは前記伝熱銅フィン表面の延長線と前記内筒の表面又は前記外筒の表面の周方向の表面線とが交わる交点位置のa点から前記伝熱銅フィンの表面側に前記TIG-MIG溶接トーチの位置をシフトさせる第2の距離 S_2 は、前記伝熱銅フィンの板厚を T_1 、前記隅肉継手部の角度を θ_1 、ギャップを G とした時に、 $S_2 = S_1 + T_1 / \tan(180 - \theta_1) + G / \sin(180 - \theta_1)$ の範囲であり、前記第1の距離 S_1 の範囲位置又は第2の距離 S_2 の範囲位置の溶接線上に前記TIG-MIG溶接トーチを略下向姿勢に設定して、前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接を前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

40

【請求項8】

請求項1乃至6のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接の代わりに、MIG溶接トーチとCuS

50

i ワイヤ及びM I G 溶接電源を用いてM I G 溶接を施工する際には、前記伝熱銅フィンの端面角部b点から前記伝熱銅フィンの表面側に前記M I G 溶接トーチの位置をシフトさせる第1の距離S1は、 $-1.9 \sim 3.1$ mmの範囲であり、若しくは前記伝熱銅フィンの表面の延長線と前記内筒の表面又は前記外筒の表面の周方向の表面線とが交わる交点位置のa点から前記伝熱銅フィンの表面側に前記M I G 溶接トーチの位置をシフトさせる第2の距離S2は、前記伝熱銅フィンの板厚をT1、前記隅肉継手部の角度を θ 、ギャップをGとした時に、 $S2 = S1 + T1 / \tan(\theta - 90^\circ) + G / \sin(\theta - 90^\circ)$ の範囲であり、前記第1の距離S1の範囲位置又は第2の距離S2の範囲位置の溶接線上に前記M I G 溶接トーチを設定して、前記M I G 溶接を前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

10

【請求項9】

請求項8に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記伝熱銅フィンの両端面部が傾斜面形状の伝熱銅フィンを用いた隅肉継手部の溶接線に前記M I G 溶接を施工する際には、前記第1の距離S1は $0 \sim 4$ mmの範囲であり、若しくは前記第2の距離S2は、前記伝熱銅フィンの板厚をT1、前記伝熱銅フィンの両端面部の端面傾斜角を α 、隅肉継手部の角度を θ 、ギャップをGとした時に、 $S2 = S1 + T1 / \tan(\theta - 90^\circ) - T1 \times \tan \alpha + G / \sin(\theta - 90^\circ)$ の範囲であり、前記第1の距離S1の範囲位置又は第2の距離S2の範囲位置の溶接線上に前記M I G 溶接トーチを設定して、前記M I G 溶接を前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

20

【請求項10】

請求項1乃至9のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

少なくとも輻射熱及び飛散物の遮蔽可能な遮蔽板を用い、前記遮蔽板は、前記隅肉継手部の溶接線方向に溶接を行う前記T I G - M I G 溶接トーチ又は前記M I G 溶接トーチと、前記T I G - M I G 溶接トーチ又は前記M I G 溶接トーチよりも前方位置で、かつ、前記隅肉継手部の溶接線から近距離だけ離れた前記伝熱銅フィンの表面部と前記内筒側の表面部又は前記外筒側の表面部との両面に接触回転動するように配備した回転移動可能なガイドローラとの間にあり、かつ、溶接線と略直角方向の上部位置で、長尺アームの先端部の下側に前記遮蔽板が配備され、該遮蔽板によって、前記T I G - M I G 溶接トーチ又は前記M I G 溶接トーチによる溶接中に発生する輻射熱及び飛散物を遮蔽するようにしたことを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

30

【請求項11】

請求項1乃至10のいずれか1項に記載の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、

前記先行T I Gと後続M I Gとの複合溶接又は前記M I G 溶接によって溶接施工した前記内筒の外表面又は前記外筒の内面と前記伝熱銅フィンの片方端面部との隅肉継手部に形成された溶接部、若しくは前記内筒及び外筒両面と前記伝熱銅フィンの両方端面部との隅肉継手部に形成された溶接部ののど厚Lが、少なくとも前記伝熱銅フィンの板厚T1以上($L \geq T1$)の大きさを有することを特徴とする金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法。

40

【請求項12】

放射性物質を有する使用済燃料の集合体を収納する鋼製の内筒の外表面と、該内筒の外側に同軸状に配置する鋼製の外筒の内表面との間に、略等間隔に傾斜配備する所定枚数の鋼製の伝熱銅フィンの両端面部を各々溶接するにあたって、前記内筒の外表面の長手方向に前記伝熱銅フィンの片方端面部を突合せて形成された前記内筒側の広角傾斜の隅肉継手部、又は前記外筒の内表面の長手方向に前記伝熱銅フィンの他方端面部を突合せて形成された前記外筒側の広角傾斜の隅肉継手部、若しくは前記内筒及び外筒の両面に形成された隅肉継手部に、先行T I Gと後続M I Gとの複合溶接によって溶接施工する金属カスク用伝熱銅フィンの溶接装置において、

溶接すべき前記隅肉継手部の溶接線に対して、少なくとも先行T I Gと後続M I Gとの

50

複合溶接が可能な一体構造の T I G - M I G 溶接トーチと、前記後続 M I G 側の消耗電極であるシリコン入りの C u S i ワイヤと、前記 T I G - M I G 溶接トーチの先端部から前記隅肉継手部の溶接部分及びその近傍に向けてガスを流出させるシールドガスと、前記 T I G - M I G 溶接トーチをアーム先端部に取付治具を介して取付可能で、かつ、溶接方向に走行移動可能な長尺アームと、前記先行 T I G の非消耗電極の極性を負極とし、前記隅肉継手側の極性を正極とした給電を行う T I G 溶接電源と、前記後続 M I G の C u S i ワイヤの極性を正極とし、前記隅肉継手側の極性を負極とした給電及びワイヤ送給を行う M I G 溶接電源とを備え、

前記隅肉継手部の溶接線の開始位置で、前記 T I G - M I G 溶接トーチの先端部から前記シールドガスを流出させながら、前記 T I G 溶接電源から給電する第 1 の溶接電流 (I a) と前記 M I G 溶接電源から給電する第 2 の溶接電流 (I b) との比 (I a / I b) を所定の範囲で出力させ、前記先行 T I G の非消耗電極に流れる第 1 の溶接電流 (I a) と前記後続 M I G の消耗ワイヤに流れる第 2 の溶接電流 (I b) とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合う T I G アークと M I G アークを前記隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う前記 T I G アークと M I G アークで 1 つの溶融プールを形成させ、前記 T I G アークと M I G アーク及び前記 1 つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置において、

前記 T I G 溶接電源から給電する第 1 の溶接電流 (I a) と前記 M I G 溶接電源から給電する第 2 の溶接電流 (I b) との比 (I a / I b) は、0.8 ~ 1.2 の範囲であることを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置。

【請求項 14】

請求項 12 又は 13 に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置において、

前記 T I G - M I G 溶接トーチの前方位置で、かつ、前記隅肉継手部の溶接線から近距離だけ離れた前記伝熱銅フィンの表面部と前記内筒側の表面部又は前記外筒側の表面部との両面に接触回転するようにガイドローラを前記長尺アームの下側に配備し、該ガイドローラの接触回転によって前記 T I G - M I G 溶接トーチを溶接線方向へ走行案内させながら、前記先行 T I G と後続 M I G の T I G アークと M I G アーク及び前記 1 つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置において、

前記 T I G - M I G 溶接トーチと、該 T I G - M I G 溶接トーチよりも前方位置で、かつ、前記ガイドローラとの間にあり、溶接線と略直角方向の上部位置で、前記長尺アームの先端部の下側に少なくとも輻射熱及び飛散物の遮蔽可能な遮蔽板が配置されていることを特徴とする金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法及びその溶接装置に係り、特に、原子力発電所等から発生する使用済燃料を輸送又は貯蔵若しくは輸送及び貯蔵し、かつ、鋼製の内筒及び外筒に銅製の伝熱フィンが直接溶接されるものに好適な金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法及びその溶接装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、原子力発電所の原子炉で一定期間使用された複数の燃料は、原子炉から取り出され、使用済燃料冷却プール等に一時保管される。使用済燃料冷却プールで所定期間冷却された使用済燃料は、再資源として活用するため、金属キャスクと呼ばれる放射性物質収

10

20

30

40

50

納容器に収納され、再処理施設で再処理されるまで中間貯蔵施設に搬入して保管される。

【 0 0 0 3 】

使用済燃料の集合体を運搬・貯蔵する金属キャスクは、使用済燃料を収納する内筒(内筒容器や容器本体或いは胴本体ともいう)、外部からの衝撃を吸収する外筒及び内筒を密閉する複数の蓋等を有している。

【 0 0 0 4 】

使用済燃料は、高レベルの放射性物質を含んでいることから崩壊熱を発生しているため、内筒と外筒の間には、使用済燃料集合体から発生する崩壊熱を内筒及び外筒の外側へ逃がすために複数の伝熱フィンを配備しており、これら複数の伝熱フィンは、内筒及び外筒にそれぞれ溶接されている。

【 0 0 0 5 】

通常、内筒及び外筒の材料には、剛性及び遮蔽性等の性能が良い炭素鋼材やステンレス鋼材等が使用され、一方の伝熱フィンの材料には、主に熱伝導の良い銅材が使用されており、また、2種類の金属を予め接合した銅クラッド鋼材等も使用されている。

【 0 0 0 6 】

上述した金属キャスクの内筒外面及び外筒内面に伝熱フィンを溶接する公知技術が、例えば、特許文献1乃至5に開示されている。

【 0 0 0 7 】

特許文献1には金属製容器製造方法について記載され、純銅製のMIGワイヤからMIGアークを発生させる溶接工程と、前記MIGアークを取り囲むように同軸上に配置されたプラズマ電極からプラズマアークを発生させる溶接工程とを並列して行い、前記MIG溶接工程及びプラズマ溶接工程では、銅製の伝熱フィンと水平面のなす角を15～20度とし、前記伝熱フィンと炭素鋼製の内筒のなす角を75度以上に配置して前記MIGアーク及びプラズマアークを下向きに発生させることが開示されている。

【 0 0 0 8 】

また、特許文献2には溶接方法について記載され、溶接後熱処理を必要とする鋼製の母材と銅製の母材とをMIGトーチ等の溶接手段によって溶接する溶接工程と、前記溶接手段と所定距離離れた後方位置に配置されたアーク溶接トーチや高周波コイル或いはレーザ等の加熱手段によって、前記溶接工程で生じた溶接ビード上を加熱(溶融も含む)して前記鋼製の母材の溶接熱影響部まで熱処理する熱処理工程を備えており、更に、前記溶接工程の前に、前記溶接手段より所定距離先行する前方位置に配置されたTIGトーチやYAGレーザや高周波コイル等の加熱手段によって、前記溶接工程の前に、熱伝導率の高い前記銅製の母材を予熱することが開示されている。

【 0 0 0 9 】

また、特許文献3には銅又は銅合金の溶接方法について記載され、非消耗電極と消耗電極を組合せ、先行の非消耗電極と後行の消耗電極に交互に溶接電流を供給し、前記非消耗電極と消耗電極との間隔を融合不良ビードが生じない距離に保ちながら溶接することが開示されている。

【 0 0 1 0 】

また、特許文献4には放射性物質用金属キャスクについて記載され、胴本体から径方向外方に延びて外筒に伝熱させる伝熱フィンを備え、この伝熱フィンは2種類の金属板を接合したクラッド材から構成され、かつ、該クラッド材の一方の金属は前記胴本体及び外筒を同種の金属材料、他方は熱伝導の良好な良伝熱材料で構成されており、前記胴本体(及び又は外筒)とこれと同種金属のクラッド部位とを直接溶接することが開示されている。

【 0 0 1 1 】

更に、特許文献5には放射性物質収納容器について記載され、銅製の伝熱フィンの両端部に平行部が各々形成されており、この平行部を容器本体外周面及び外筒内周面に沿って配置し、銅合金ワイヤを用いたMIG溶接又はMIGブレイジングによって、前記容器本体外周面及び外筒内周面と前記伝熱フィンの平行先端部とが溶接されていることが開示されている。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2009-178727号公報

【特許文献2】特開2002-361469号公報

【特許文献3】特開昭58-3791号公報

【特許文献4】特開2007-205931号公報

【特許文献5】特開2008-082906号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0013】

しかしながら、上述した特許文献1では、MIGアーク及びプラズマアークをほぼ同軸上に発生させているため、両アークに作用する電磁力は相殺し合うが、MIGワイヤ(消耗電極)及びプラズマ電極(非消耗電極)の両極性を正極(プラス)、母材側を負極(マイナス)にしていることから、プラズマ電極が消耗されて損傷し易いため、長時間稼働が必要な溶接線の長い長尺部材の溶接には適さないし、溶接途中でプラズマ電極が消耗すると、不安定なアーク挙動に変化して溶接ビード形成に悪影響を及ぼし、溶接不良に至る場合がある。また、純銅は熱伝導率の高い材料であるが、銅材と鋼材との異材溶接は相性が悪く、固溶し難い性質があるため、純銅製のMIGワイヤを用いて銅・鋼継手部を溶接して鋼側の溶込みが深くなると、溶接割れ(凝固割れ)が発生し易くなる。

20

【0014】

また、特許文献2では、溶接手段の他に、該溶接手段の後方位置及び/又は前方位置にアーク溶接トーチや高周波コイル或いはレーザ等の加熱手段を設ける構成であるため、装置が大型化すると共に、溶接対象物との干渉等によって溶接できない部位が発生してしまう。また、磁気を発生する高周波コイルを設ける場合は、電磁力によって溶接手段のアーク挙動が不安定になり、溶接ビード形成に悪影響を及ぼすことがある。一方、レーザを使用する場合には、銅製の母材に対して光の反射率が高いため、銅母材を十分に加熱することができない。

【0015】

また、特許文献3では、アーク同士の干渉を避けるため、非消耗電極(TIG)側の電流と消耗電極(MIG)側の電流とを交互に切り換えて供給するようにしている。このため、TIGアークの発生中はMIGアークが消滅した状態、反対に、MIGアークの発生中はTIGアークが消弧した状態で銅又は銅合金の母材を溶接することになり、加熱及び溶融の相乗効果が抑制され、溶接能率の大幅な向上は難しいものとなる。また、溶接対象物は銅材同士又は銅合金材同士で溶接であり、銅材と鋼材との異材溶接については、対象外で全く適用されておらず、また、記載も示唆もされていない。

30

【0016】

また、特許文献4では、銅クラッド鋼材の鋼部と鋼製の胴体又は外筒とを溶接するように構成していることから、鋼材同士のMAG溶接やCO₂溶接等が施工可能となるが、伝熱フィンに銅クラッド鋼材を使用しているため、製造コストが高く、重量が重くなるという問題がある。また、前記銅クラッド鋼材の鋼側の板厚が薄いことから、除熱性能に限界があるため、より高い除熱性能が必要な伝熱フィンには適さない。

40

【0017】

更に、特許文献5では、板幅の広い銅板を使用すると共に、銅板幅方向の両端部に平行部を設けるための曲げ成形等の加工が必要な構造であり、製造コストが高くなるという問題がある。また、容器本体外周面及び外筒内周面に前記平行部を密着させて重ね隅肉継手部を形成し、該重ね隅肉継手部をMIG溶接又はMIGブレイジングするようにしているため、大きな溶接入熱量が必要となり、更に、銅側の溶接ビード止端部に発生し易いアンダーカット等の凹みによって、溶接部ののど厚不足や有効断面積不足に至る場合がある。

【0018】

50

本発明は上述の点に鑑みなされたもので、その目的とするところは、銅と銅との異材継手の溶接性に優れ、十分な大きさののど厚を有する品質良好な溶接部を得ると共に、除熱性能の向上及び製造コストの低減にも有効な金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法及びその溶接装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法は、上記目的を達成するために、放射性物質を有する使用済燃料の集合体を収納する鋼製の内筒の外側と、該内筒の外側に同軸状に配置する鋼製の外筒内面との間に、略等間隔に傾斜配備する所定枚数の銅製の伝熱銅フィンの両端面部を各々溶接する際に、前記内筒の外側の長手方向に前記伝熱銅フィンの片方端面部を突合せて形成された前記内筒側の広角傾斜の隅肉継手部、又は前記外筒の内側の長手方向に前記伝熱銅フィンの他方端面部を突合せて形成された外筒側の広角傾斜の隅肉継手部、若しくは前記内筒及び外筒の両面に形成された隅肉継手部に、先行TIGと後続MIGとの複合溶接によって溶接施工する金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法において、溶接すべき前記隅肉継手部の溶接線に対して、前記先行TIGと前記後続MIGとの複合溶接が可能な一体構造のTIG-MIG溶接トーチと、前記後続MIG側の消耗ワイヤにシリコン入りのCuSiワイヤとを用い、前記TIG-MIG溶接トーチを走行移動可能な長尺アームの先端部又は多関節可動式の溶接ロボットの手首部に取付治具を介して取付けると共に、前記先行TIGの非消耗電極の極性を負極とし、前記隅肉継手側の極性を正極とした給電をTIG溶接電源で行い、一方、前記後続MIGのCuSiワイヤの極性を正極とし、前記隅肉継手側の極性を負極とした給電をMIG溶接電源で行い、かつ、前記TIG溶接電源から給電する第1の溶接電流(Ia)と前記MIG溶接電源から給電する第2の溶接電流(Ib)との比(Ia/Ib)を所定の範囲で出力させ、前記先行TIGの非消耗電極に流れる前記第1の溶接電流(Ia)と前記後続MIGのCuSiワイヤに流れる前記第2の溶接電流(Ib)とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合うTIGアークとMIGアークを前記隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う前記TIGアークとMIGアークで1つの溶融プールを形成させ、前記TIGアークとMIGアーク及び前記1つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする。

【0020】

また、本発明の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接装置は、上記目的を達成するために、放射性物質を有する使用済燃料の集合体を収納する鋼製の内筒の外側と、該内筒の外側に同軸状に配置する鋼製の外筒の内面との間に、略等間隔に傾斜配備する所定枚数の銅製の伝熱銅フィンの両端面部を各々溶接するにあたって、前記内筒の外側の長手方向に前記伝熱銅フィンの片方端面部を突合せて形成された前記内筒側の広角傾斜の隅肉継手部、又は前記外筒の内側の長手方向に前記伝熱銅フィンの他方端面部を突合せて形成された前記外筒側の広角傾斜の隅肉継手部、若しくは前記内筒及び外筒の両面に形成された隅肉継手部に、先行TIGと後続MIGとの複合溶接によって溶接施工する金属カスク用伝熱銅フィンの溶接装置において、溶接すべき前記隅肉継手部の溶接線に対して、少なくとも先行TIGと後続MIGとの複合溶接が可能な一体構造のTIG-MIG溶接トーチと、前記後続MIG側の消耗電極であるシリコン入りのCuSiワイヤと、前記TIG-MIG溶接トーチの先端部から前記隅肉継手部の溶接部分及びその近傍に向けてガスを流出させるシールドガスと、前記TIG-MIG溶接トーチをアーム先端部に取付治具を介して取付可能で、かつ、溶接方向に走行移動可能な長尺アームと、前記先行TIGの非消耗電極の極性を負極とし、前記隅肉継手側の極性を正極とした給電を行うTIG溶接電源と、前記後続MIGのCuSiワイヤの極性を正極とし、前記隅肉継手側の極性を負極とした給電及びワイヤ送給を行うMIG溶接電源とを備え、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置で、前記TIG-MIG溶接トーチの先端部から前記シールドガスを流出させながら、前記TIG溶接電源から給電する第1の溶接電流(Ia)と前記MIG溶接電源から給電する第2の溶接電流(Ib)との比(Ia/Ib)を所定の範囲で出力させ、前記先行TIGの非

消耗電極に流れる第1の溶接電流（ I_a ）と前記後続MIGの消耗ワイヤに流れる第2の溶接電流（ I_b ）とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合うTIGアークとMIGアークを前記隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う前記TIGアークとMIGアークで1つの溶融プールを形成させ、前記TIGアークとMIGアーク及び前記1つの溶融プールによる複合溶接によって、前記隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、銅と銅との異材継手の溶接性に優れ、十分な大きさを有するのど厚及び除熱に有効な熱伝導断面積を確保でき、かつ、割れ等の欠陥がない品質良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることができると共に、除熱性能の向上及び製造コストの低減にも寄与することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属カスクの構造を示す斜視図である。

【図2】図1中のA部を拡大した継手溶接構造を示す部分斜視図である。

【図3】本発明の実施例1に係わる金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法の手順の概要を示すフローチャートである。

【図4】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属カスクにおける内筒外面と伝熱銅フィンの端面部との隅肉継手部の形状を示す部分斜視図である。

20

【図5】図4に示した内筒側の隅肉継手部に溶接した溶接部の形状を示す部分斜視図である。

【図6】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属カスクにおける外筒外面と伝熱銅フィンの他方の端面部との溶接すべき隅肉継手部の形状を示す部分斜視図である。

【図7】図6に示した外筒側の隅肉継手部に溶接した溶接部の形状を示す部分斜視図である。

【図8】本発明の実施例1に係わる一体構造のTIG-MIG溶接トーチの概略構成及びトーチ配置を示し、TIGアークとMIGアークで溶融プールを形成する前の図である。

【図9】図8の状態からTIGアークとMIGアークで溶融プールを形成した状態を示す図である。

30

【図10】本発明の実施例2に係わるMIG溶接トーチの概略構成及びトーチ配置を示す斜視図である。

【図11】本発明の実施例2に係わるMIT溶接における伝熱銅フィンの端面形状及びトーチ配置を示す図である。

【図12】本発明の実施例1に係わる先行TIGと後続MIGの複合溶接における伝熱銅フィンの端面形状及びトーチ配置を示す図である。

【図13】本発明の実施例3に係わる金属カスク用伝熱銅フィンの溶接装置であり、長尺アームの先端部にTIG-MIG溶接トーチ及びガイドローラを配備した構成を示す正面図である。

40

【図14】図13に示した構成の左側面図である。

【図15】本発明に係わるワイヤ送り速度とワイヤ溶着断面積及びのど厚の関係を示す特性図である。

【図16】本発明に係わる銅板の端面平坦面継手及び端面傾斜面継手のMIG溶接におけるトーチ位置のシフト量と溶接部ののど厚及びビード幅との関係を示す特性図である。

【図17】本発明に係わるトーチ位置（ワイヤ位置）のシフト量 S_2 （前記第2の距離 S_2 ）を変化させた時の端面平坦面継手の溶接ビード外観及び溶接部断面写真を示す図である。

【図18】本発明に係わる炭素鋼表面にCuSiワイヤを直接溶接した時の溶込み深さと鋼側の希釈率の関係を示す特性図である。

【図19】本発明に係わる隅肉継手部のギャップ及びトーチ位置のシフト量を変化させて

50

T I G - M I G 複合溶接試験を行った時の溶接部の品質評価結果及び適正条件領域を示す特性図である。

【図 20】本発明に係わる T I G - M I G 複合溶接した溶接部の代表的な溶接断面写真を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図示した実施例に基づいて本発明の金属カスク用伝熱銅フィンの溶接方法及びその溶接装置について説明する。なお、各図において、同一構成部品には同符号を使用する。

【実施例 1】

【0024】

図 1 に、本実施例に係わる伝熱銅フィン付き金属カスクの構造を、図 2 に、図 1 中の A 部を拡大した溶接構造をそれぞれ示す。

【0025】

該図において、内筒 1 は、その内部に放射性物質を有する複数の使用済燃料(図示せず)の集合体等を収納する容器であり、強度の高い炭素鋼等の鋼製の鋼材が用いられている。この内筒 1 の外側には、内筒 1 と同種材の鋼製の外筒 2 が内筒 1 を取り囲むように同軸状に配置されている。内筒 1 の外面と外筒 2 の内面の間には、円周長手方向に略等間隔に、数十枚(所定枚数を N 枚という)の伝熱銅フィン 3 が傾斜して配備されている。

【0026】

これら N 枚の伝熱銅フィン 3 は、熱伝導率の高い純銅等の銅製の銅板材が用いられており、銅製の伝熱銅フィン 3 を用いることで、使用済燃料集合体から発生する崩壊熱を内筒 1 及び外筒 2 の外側へ逃がすための除熱性能を高めることができると共に、軽量化及びコスト低減にも寄与することができる。また、金属カスク全体の強度及び剛性は、強度の高い鋼製の厚板の内筒 1 と外筒 2、及びこの内筒 1 と外筒 2 を密閉する複数の蓋(図示せず)等によって、十分に確保されている。

【0027】

図 2 に示すように、N 枚の伝熱銅フィン 3 の片方の各端面部には、内筒 1 側の各隅肉継手部 5 で溶接された内側溶接部(溶接ビード及びその溶接断面部) 7 が形成されており、また、他方の各端面部には、外筒 2 側の各隅肉継手部 8 で溶接された外側溶接部 10(溶接ビード及びその溶接断面部)が形成されている。この伝熱銅フィン 3 の内側溶接部 7 及び外側溶接部 10 については、特に強度は要求されないが、収納・保管する物質の性質上、高い信頼性を確保する必要がある。

【0028】

溶接すべき N 枚の伝熱銅フィン 3 の各隅肉継手部 5、8 の内筒 1 と伝熱銅フィン 3、外筒 2 と伝熱銅フィン 3 とのそれぞれの角度 θ_1 は、内筒 1 の外面又は外筒 2 の内面若しくは内筒 1 及び外筒 2 の両面に対して、 $\theta_1 = 120 \text{ 度} \pm 15 \text{ 度} (105 \text{ 度} \sim 135 \text{ 度})$ の範囲の広角に傾斜して形成されている。

【0029】

また、N 枚の伝熱銅フィン 3 が隣接する各空間 4 は、樹脂材等のレジン(図示せず)を充填配備する場所である。これらのレジンは、使用済燃料の集合体から法線状に放出される放射線を遮蔽する物質であり、溶接終了後に、N 枚の伝熱銅フィン 3 の傾斜面に沿って、レジンが各空間 4 の内部にそれぞれ充填されるものである。伝熱銅フィン 3 を広角に傾斜して配備することで、溶接時の作業性が容易になると共に、伝熱銅フィン 3 の傾斜面に沿って充填されるレジンの傾斜配備によって、放射線の遮蔽性能を高めることができる。

【0030】

本実施例における伝熱銅フィン 3 の両端面部を、内筒 1 及び外筒 2 の両面に溶接する方法について、以下に説明する。

【0031】

図 3 は、本実施例に係わる金属カスク用伝熱銅フィンの溶接手順概要の一実施例を示

10

20

30

40

50

すフローチャートである。

【0032】

該図において、伝熱銅フィン3の溶接手順100では、溶接前にワイヤ溶着断面積 A_w を決定するワイヤ溶着断面積決定工程102と、所定枚数(N枚)の伝熱銅フィン3の片方端面部を内筒1側に各々突合せて隅肉継手部5をN箇所(5-1、5-2・・・5-N)形成した後に、その隅肉継手部5に溶接する内筒1側の第1の溶接工程103、内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105、内筒1側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程106と、内筒1側の溶接品質の検査工程107、117の終了後に、N枚の伝熱銅フィン3の他方の端面部を外筒2側に各々突合せて隅肉継手部8をN箇所(8-1、8-2・・・8-N)形成し、その後、隅肉継手部8に溶接する外筒2側の第2の溶接工程110、外筒2側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程112、外筒2側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程113とを順次行うものである。

10

【0033】

内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105と外筒2側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程112では、N箇所形成した隅肉継手部5、8に1パスずつ繰り返し溶接(連続溶接)することで、隅肉継手部5、8の仮組作業及び溶接作業を効率良く行うことができる。一方、少数単位(1～5箇所程度)に分割して溶接と検査を繰り返す内筒1側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程106と外筒2側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程113では、内筒1側又は外筒2側の各隅肉継手部5-1、5-2・・・5-N、8-1、8-2・・・8-Nを1～5箇所程度に分割して溶接を行い、かつ、その溶接後の溶接部を検査するように、溶接と検査の両作業を繰り返すようにすることで、溶接と検査の両作業を効率良く行うことができると共に、溶接部の品質を溶接直後に検証することができる。

20

【0034】

このように、二通りある作業(連続溶接又は溶接と検査の繰り返し)の何れかを選択することで、溶接優先の作業効率向上又は検査優先の溶接品質向上を図ることができる。

【0035】

次に、内筒1側の第1の溶接工程103と内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105の終了後、又は内筒1側の第1の溶接工程103、内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105、外筒2側の第2の溶接工程110、外筒2側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程112の終了後に、内筒1側の溶接品質の検査工程107と外筒2側の溶接品質の検査工程114では、各溶接部の品質を各々検査すると共に、その検査で不合格(工程108、115)となった溶接部分を補修する補修溶接工程109、116を行う。

30

【0036】

また、溶接と検査の両作業を繰り返し行う場合の内筒1側の溶接品質の検査工程117と外筒2側の溶接品質の検査工程120では、該当する溶接部に溶接ビードが良好に形成されているか否か、割れやアンダーカット等の欠陥があるか否か、のど厚 L や溶込み深さ c 等を満足しているか否か等の溶接品質の検査・確認を行う。この内筒1側の溶接品質の検査工程117と外筒2側の溶接品質の検査工程120で不合格(工程118、121)となった場合には、不合格の溶接部分を補修溶接工程119、122で補修するようにしている。

40

【0037】

最初に、溶接前に行うワイヤ溶着断面積決定工程102では、所定の隅肉継手部5に形成すべき内側溶接部7ののど厚 L が伝熱銅フィン3の板厚 T_1 以上($L \geq T_1$)になるように、ワイヤ送り速度 W_f 又はワイヤ送り速度 W_f とワイヤ径 d 及び所定の溶接速度 V からワイヤ溶着断面積 A_w を算出して決定する。

【0038】

なお、内側溶接部7ののど厚 L とは、図3のワイヤ溶着断面積決定工程102中に示すように、伝熱銅フィン3側の溶融底部から溶接ビード表面までの最小距離のことである。また、ワイヤ溶着断面積決定工程102の箇所に図示した隅肉継手部5の内側溶接部7は

50

、内筒 1 の外面に伝熱銅フィン 3 の一方の端面部を溶接して形成することを想定して描いているが、外筒 2 の内面に伝熱銅フィン 3 の他方の端面部を溶接して外側溶接部 10 を形成することも想定内であり、図 2 に示した溶接構造と同様であることから省略している。

【 0 0 3 9 】

次に、内筒 1 側の第 1 の溶接工程 103 では、図 4 に示すように、鋼製の内筒 1 の外面に所定枚数 (N 枚) の伝熱銅フィン 3 の片方の各端面部を突き合せて広角形状の各隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N を略等間隔に各々形成する。図 4 中には、伝熱銅フィン 3 を 2 枚のみ図示して他の部分を省略してあるが、溶接すべき所定枚数の伝熱銅フィン 3 は、内筒 1 の外面の円周方向に略等間隔に傾斜して配備されている。

【 0 0 4 0 】

なお、この内筒 1 側の第 1 の溶接工程 103 では、外筒 2 は配備せずに、伝熱銅フィン 3 を内筒 1 の外面に傾斜配備して広角形状の隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N を形成することで、本溶接前の伝熱銅フィン 3 の仮組作業や各隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N の溶接作業等を容易に行うことができる。

【 0 0 4 1 】

また、内筒 1 側の第 1 の溶接工程 103 では、図 3 ～図 5 に示すように、所定枚数 (N 枚) の伝熱銅フィン 3 を内筒 1 の外面に取り付けて隅肉継手部 5 を N 箇所形成した後に、この N 箇所の隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N に 1 パスずつ繰り返し溶接 (連続溶接) する内筒 1 側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程 105 と、N 箇所の隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N を予め 1 ～ 5 箇所程度に分割し、その分割した 1 ～ 5 箇所の隅肉継手部 5 - 1、5 - 2、5 - 3、5 - 4、5 - 5 を溶接して、その溶接部を検査するように、溶接と検査の両作業を繰り返す内筒 1 側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程 106 とに分けている。

【 0 0 4 2 】

内筒 1 側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程 105 では、パス毎に溶接すべき N 箇所の隅肉継手部 5 - 1、5 - 2・・・5 - N の各溶接開始位置から終了位置までの各溶接線 (伝熱銅フィン 3 の下位表面に記した点線 6 - 1、6 - 2・・・6 - N) に対して、シリコン入りの CuSi ワイヤを用い、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接又は MIG 溶接によって、1 パスずつ順番に溶接施工する。

【 0 0 4 3 】

この内筒 1 側の N 箇所の繰り返し溶接工程 105 では、例えば、溶接対象の継手 (内筒 1 及び伝熱銅フィン 3 の両方) 側を回転駆動装置等で回転移動させて、溶接すべき隅肉継手部 5 - 1 の溶接線 6 - 1 を鉛直方向に姿勢変更した後に、溶接線 6 - 1 上に一体構造の TIG - MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを下向姿勢で位置決めする。伝熱銅フィン 3 の両端面部が平坦面形状の場合の溶接線は、端面部から伝熱銅フィン 3 の表面側にワイヤ位置又はトーチ位置 (電極位置含む) を所定距離だけシフトさせた位置であり、そのシフト量 S1 (第 1 の距離 S1) は、 $S1 = 0 \sim 4 \text{ mm}$ の範囲で設定すると良い。下向姿勢の一体構造の TIG - MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを、溶接開始位置から終了位置までの溶接線 6 - 1 上を走行させながら 1 パス溶接して溶接ビード及び溶接断面部 7 - 1 を形成すると良い。

【 0 0 4 4 】

このように、ワイヤ位置又はトーチ位置を伝熱銅フィン 3 側にシフトさせて溶接することで、伝熱銅フィン 3 の加熱溶融が促進されると共に鋼側の溶込み深さが抑制されるので、十分な大きさを有するのど厚 L 及び除熱に有効な熱伝導断面積を確実に確保でき、浅溶込みの溶接ビード及び溶接断面部を得ることができる。

【 0 0 4 5 】

溶接線 6 - 1 の 1 パス溶接が終了すれば、溶接トーチを回避移動させ、次の溶接線 6 - 2 の溶接では、継手側を再び回転移動させて、該当する溶接線 6 - 2 を鉛直方向に姿勢変更した後に、回避移動させていた溶接トーチを溶接線 6 - 2 上に沿って移動させて下向姿勢で位置決めを行う。溶接トーチを溶接線 6 - 2 上に沿って走行させながら 1 パス溶接す

10

20

30

40

50

ると良い。

【0046】

このように、該当する隅肉継手部5の溶接線を姿勢変更する動作、溶接線上に溶接トーチを位置決めする動作、その溶接トーチを走行させながら溶接線上に1パス溶接を施工する動作、1パス溶接施工後に溶接トーチを回避させる動作等の一連の繰り返し動作を行うことで、所定枚数(N)の隅肉継手部5の各溶接線6-1、6-2・・・6-Nに、それぞれ溶接ビード及び溶接断面部7-1、7-2・・・7-Nを形成することができる。

【0047】

なお、先行TIGと後続MIGとの複合溶接やMIG溶接や溶接試験結果等については、別の実施例(図8～図21)を用いて後述する。

10

【0048】

一方、内筒1側の溶接(1～5箇所)と、その溶接部の検査を繰り返す内筒1側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程106でも、溶接施工は同様であり、上述したように、下向姿勢の一体構造のTIG-MIG溶接トーチ(又はMIG溶接トーチ)を溶接開始位置から終了位置までの溶接線6-1上に沿って走行させながら1パス溶接して溶接ビード及び溶接断面部7-1を形成すると良い。溶接後には内筒1側の溶接品質の検査工程117で溶接品質の検査を行い、また、この溶接品質の検査で不合格となった場合には、不合格の溶接部分を補修溶接工程119で補修するようにしている。

【0049】

CuSiワイヤを用いて先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接することで、銅と鋼との異材溶接であっても、銅と鋼及びSiとが固溶可能な状態で適度に混合し合って割れのない良好な溶接ビード及び溶接断面部(溶接部)を形成することができる。熱伝導率が高い純銅製のCuワイヤを使用することも可能であるが、純銅製のCuワイヤの場合には、シリコン入りのCuSiワイヤと比べて、銅と鋼との異材溶接に対して溶接性及び溶接品質が劣ると共に、割れ感受性も高いことから、本実施例の溶接方法には採用しなかった。

20

【0050】

また、図3～図5に示したように、溶接施工された各隅肉継手部5-1、5-2・・・5-Nの溶接ビード及び溶接断面部7-1、7-2・・・7-Nに、少なくとも溶接部のど厚Lが伝熱銅フィン3の板厚T1以上($L \geq T1$)に形成されている。また、内筒1側の溶込み深さcは0.05mm以上6mm以下($0.05 \leq c \leq 6 \text{ mm}$)に形成されている(この溶込み深さcについては後述する)。

30

【0051】

これによって、内筒1側の各伝熱銅フィン3の溶接箇所に、十分な大きさを有するのど厚L及び除熱に有効な熱伝導断面積を確実に確保でき、かつ、割れ等の欠陥がない品質良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることができる。また、除熱性能の向上及び製造コスト低減にも寄与することができる。更に、溶接部の引張強度についても、 100 N/mm^2 以上の強度を確実に得ることができる。

【0052】

上述したのど厚Lが伝熱銅フィン3の板厚T1よりも小さ過ぎると、例えば、内筒1側から内側溶接部7を経由して伝熱銅フィン3側に熱を伝導するのに必要な熱伝導断面積が減少するため、除熱性能の向上に支障をきたすことになる。そのため、溶接部のど厚Lを伝熱銅フィン3の板厚T1以上($L \geq T1$)に形成している。また、内筒1側の溶込み深さcが深過ぎると、溶接部の断面積に対する鋼の溶融比率(希釈率)が増加するため、溶接部分の熱伝導率が減少すると共に、割れ感受性が高くなり易い。溶込み深さcが浅過ぎると、鋼側との接合不足によって引張強度が低下し易くなる。そのため、内筒1側の溶込み深さcを0.05mm以上6mm以下($0.05 \leq c \leq 6 \text{ mm}$)に形成している。

40

【0053】

内筒1側の繰り返し溶接が終了した後の内筒1側の溶接品質の検査工程107では、内筒1の各溶接部に溶接ビードが良好に形成されているか否か、割れやアンダーカット等の

50

欠陥があるか否か、のど厚 L や溶込み深さ c 等を満足しているか否か等の溶接品質の検査・確認を行う。合格(工程108)であれば、次工程である外筒2側の第2の溶接工程110に進み、不合格の溶接箇所があれば、補修溶接工程109に進み、不合格の溶接箇所及び近傍を補修溶接するようにしている。なお、内筒1側の溶接品質の検査工程107を省略して、内筒1及び外筒2の両方の溶接施工の終了後に、内筒1側の溶接品質の検査工程107を実施するようにすることもできる。

【0054】

次に、外筒2側の第2の溶接工程110では、内筒1側の第1の溶接工程103、内筒1側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程105、内筒1側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程106の終了後又は内筒1側の検査工程107及び117の終了後に、図6に示すように、内筒1側に溶接済の伝熱銅フィン3の外周側に一体の円筒状の外筒2を配置して、所定枚数(N 枚)の伝熱銅フィン3の他方の各端面部を突き合せて、広角形状の各隅肉継手部8-1、8-2・・・8- N を略等間隔に各々形成する。

10

【0055】

図6中には、図4と同様に、伝熱銅フィン3を2枚のみ図示して他の部分を省略しているが、溶接すべき所定枚数(N 枚)の伝熱銅フィン3は、内筒1及び外筒2の両面に略等間隔に傾斜して配備されており、かつ、内筒1側の溶接ビード及び溶接断面部7-1、7-2・・・7- N は既に形成済であり、継手側の姿勢を反転して図示している。

【0056】

また、外筒2側の第2の溶接工程110では、図3、図6及び図7に示すように、外筒2側に隅肉継手部を N 箇所形成した後に、この N 箇所の隅肉継手部8-1、8-2・・・8- N に1パスずつ繰り返し溶接(連続溶接)する外筒2側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程112と、1～5箇所程度の隅肉継手部8-1、8-2・・・8-5に1パスずつ溶接すると共に、その溶接後の溶接部を検査するように溶接と検査の両作業を繰り返す外筒2側の少数単位の溶接と検査の繰り返し溶接工程113とに分けている。

20

【0057】

外筒2側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程112では、内筒1側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程105の場合と同様に、パス毎に溶接すべき N 箇所の隅肉継手部8-1、8-2・・・8- N の各溶接開始位置から終了位置までの各溶接線(伝熱銅フィン3の下位表面に記した点線9-1、9-2・・・9- N)に対して、シリコン入りのCuSiワイヤを用い、先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接によって、1パスずつ順番に溶接施工する。

30

【0058】

内筒1の溶接の場合と同様に、外筒2側の溶接の場合でも、溶接対象の継手(内筒1と外筒2及び伝熱銅フィン3)側を回転駆動装置等で回転移動させて、溶接すべき隅肉継手部8-1の溶接線9-1を鉛直方向に姿勢変更した後に、溶接線9-1上に、一体構造のTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを下向姿勢で位置決めする。

【0059】

上述したように、伝熱銅フィン3の両端面部が平坦面形状の場合の溶接線は、端面部から伝熱銅フィン3の表面側にワイヤ位置又はトーチ位置(電極位置含む)を所定距離だけシフトさせた位置であり、そのシフト量 $S1$ は、 $S1 = 0 \sim 4 \text{ mm}$ の範囲で設定すると良い。下向姿勢の一体構造のTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを、溶接開始位置から終了位置までの溶接線9-1上に沿って走行させながら1パス溶接して溶接ビード及び溶接断面部10-1を形成すると良い。

40

【0060】

このように、ワイヤ位置又はトーチ位置を伝熱銅フィン3側にシフトさせて溶接することで、伝熱銅フィン3の加熱溶融が促進されると共に鋼側の溶込み深さが抑制されるので、十分な大きさを有するのど厚 L 及び除熱に有効な熱伝導断面積を確実に確保でき、浅溶込みの溶接ビード及び溶接断面部を得ることができる。

【0061】

50

溶接線 9 - 1 の 1 パス溶接が終了すれば、溶接トーチを回避移動させ、次の溶接線 9 - 2 の溶接及びそれ以降の溶接線の溶接も同様であり、上述したように、該当する隅肉継手部の溶接線を姿勢変更する動作、溶接線上に溶接トーチを位置決めする動作、溶接トーチを走行させながら溶接線上に 1 パス溶接を施工する動作、1 パス溶接施工後に溶接トーチを回避させる動作等の一連の繰り返し動作を行うことで、所定枚数 (N 枚) の隅肉継手部の各溶接線 9 - 1、9 - 2・・・9 - N に、それぞれ溶接ビード及び溶接断面部 10 - 1、10 - 2・・・10 - N を形成することができる。

【0062】

一方、外筒 2 側の溶接 (2 ～ 5 箇所) と、その溶接部の検査とを繰り返す外筒 2 側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程 113 でも、内筒 1 側の場合と同様であり、上述したように、下向姿勢の一体構造の TIG - MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを、溶接開始位置から終了位置までの溶接線 9 - 1 上に沿って走行させながら 1 パス溶接して溶接ビード及び溶接断面部 10 - 1 を形成すると良い。溶接後に外筒 2 側の溶接品質の検査工程 120 を行い、また、この外筒 2 側の溶接品質の検査工程 120 で不合格となった場合は、不合格の溶接部分を補修溶接工程 122 で補修するようにしている。

【0063】

また、図 3、図 6 及び図 7 に示したように、溶接施工された各隅肉継手部 8 - 1、8 - 2・・・8 - N の溶接部である溶接ビード及び溶接断面部 10 - 1、10 - 2・・・10 - N に、少なくとも溶接部ののど厚 L が伝熱銅フィン 3 の板厚 T1 以上 ($L \geq T1$) に形成されている。また、外筒 2 側の溶込み深さ c も 0.05 mm 以上 6 mm 以下 ($0.05 \leq c \leq 6$ mm) に形成されている。

【0064】

これによって、上述したように、内筒 1 側の場合と同様に、外筒 2 側の各伝熱銅フィン 3 の溶接箇所でも、十分な大きさを有するのど厚 L 及び除熱に有効な熱伝導断面積を確実に確保でき、かつ、割れ等の欠陥がない品質良好な溶接ビード及びその溶接断面部を得ることができる。また、除熱性能の向上及び製造コスト低減にも寄与することができる。更に、溶接部の引張強度についても、 100 N/mm^2 以上の強度を確実に得ることができる。

【0065】

外筒 2 側の繰り返し溶接が終了した後の外筒 2 側の溶接品質の検査工程 114 では、内筒 1 側の溶接検査と同様に、外筒 2 側の各溶接部に溶接ビードが良好に形成されているか否か、割れやアンダーカット等の欠陥があるか否か、のど厚 L や溶込み深さ c 等を満足しているか否か等の溶接品質の検査・確認を行う。合格 (工程 115) であれば、次工程 125 のステップに進み、不合格の溶接箇所があれば、補修溶接工程 116 に進み、不合格の溶接箇所及び近傍を補修溶接するようにしている。

【0066】

図 8 及び図 9 に、本実施例に係わる一体構造の TIG - MIG 溶接トーチの概略構成及びトーチ配置の一例を示す。

【0067】

図 8 に示すように、一体構造の TIG - MIG 溶接トーチ 11 の内部には、タングステン等の非消耗電極 13、その非消耗電極 13 の先端部及び溶接部分に向けて第 1 のシールドガス 14 を流出させる第 1 のガス通路 (図示せず) 等を備えた TIG ユニット 12 と、CuSi ワイヤ等の消耗ワイヤ 18、その消耗ワイヤ 18 が挿通するワイヤ通路 (図示せず)、消耗ワイヤ 18 の先端部及び溶接部分に向けて第 2 のシールドガス 19 を流出させる第 2 のガス通路等を備えた MIG ユニット 17 とが配備されている。

【0068】

第 1 及び第 2 のシールドガス 14 及び 19 は、ガスの種類や成分を変更可能であるが、ここでは Ar ガスと He ガスとの混合ガスをシールドガスに使用している。銅と鋼との溶接に Ar ガスと He ガスとの混合ガスを使用することで、純 Ar ガスの場合と比べて、電位傾度が高く、溶接性や濡れ性等が優れており、品質良好な溶接部を得ることが容易とな

10

20

30

40

50

る。図示していないが、この他にも、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を循環水で冷却する水路が設けられている。

【 0 0 6 9 】

T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 は、鋼製の内筒 1 と銅製の伝熱銅フィン 3 との隅肉継手部 5 - 1 の溶接線 6 - 1 に対して、走行移動可能な長尺アーム 3 1 の先端部に取付治具(図示せず)を介して略下向姿勢に取付け、又は長尺アーム 3 1 の先端部に取付治具及び左右・上下移動可能な 2 軸駆動テーブル(図示せず)を介して取付け、かつ、溶接線 6 - 1 の方向に配置されている。

【 0 0 7 0 】

また、走行移動可能な長尺アーム 3 1 の代わりに、多関節可動式の溶接ロボットを用い、この溶接ロボットの手首部に T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を配置(取付)して、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を走行移動させながら、先行 T I G と後続 M I G の複合溶接を隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工するようにしても良い。

【 0 0 7 1 】

更に、先行 T I G の非消耗電極 1 3 側の T I G ユニット 1 2 は、溶接進行方向と逆方向側に後退角 - 1 で傾斜配置され、また、後続 M I G の消耗ワイヤ 1 8 側の M I G ユニット 1 7 は、溶接進行方向に前進角 + 2 で傾斜配置されている。先行 T I G 側の後退角 - 1 は、0 ~ 4 5 度の範囲にすると良い。好ましくは 1 5 ~ 3 0 度の範囲に配置するとさらに良い。他方の後続 M I G 側の前進角 + 2 は、1 5 ~ 4 5 度の範囲にすると良い。好ましくは 1 5 ~ 3 0 度の範囲に配置するとさらに良い。

【 0 0 7 2 】

また、非消耗電極 1 3 の先端部の延長線が継手母材の溶接線 6 - 1 と交差する位置から消耗ワイヤ 1 8 の先端部までの両電極間の距離間隔 f_1 は、3 ~ 9 mm の範囲にすると良い。好ましくは 4 ~ 7 mm の範囲に配置するとさらに良い。また、継手母材の溶接線 6 - 1 から非消耗電極 1 3 の先端部までの電極高さ f_2 は、3 ~ 9 mm の範囲にすると良い。好ましくは 4 ~ 7 mm の範囲に配置するとさらに良い。

【 0 0 7 3 】

このように、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を配置して溶接線上を走行移動及び溶接動作させることで、先行 T I G と後続 M I G との複合溶接を安定に施工することが可能となる。

【 0 0 7 4 】

なお、T I G ユニット 1 2 の後退角 - 1 及び M I G ユニット 1 7 の前進角 + 2 が 1 5 度よりも小さ過ぎると、例えば、非消耗電極 1 3 と消耗ワイヤ 1 8 との距離間隔 f_1 を所定範囲に接近させることができなくなり、また、T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 で形成する 1 つの溶融プール 2 4 の形状が細長く不安定になり易い。一方、後退角 - 1 及び前進角 + 2 が上述した角度範囲よりも大き過ぎると、M I G アーク 2 3 によって溶融される消耗ワイヤ 1 8 の溶滴が、スパッタとなって先行 T I G 側方向に飛び散り易く、そのスパッタの一部が先行 T I G 側の非消耗電極 1 3 に付着して非消耗電極 1 3 を損傷させることがあり、また、ガスシールド性が低下し易いので好ましくない。従って、先行 T I G 側の後退角 - 1 は、0 ~ 4 5 度の範囲にすると良いし、後続 M I G 側の前進角 + 2 は、1 5 ~ 4 5 度の範囲にすると良い。

【 0 0 7 5 】

また、非消耗電極 1 3 と消耗ワイヤ 1 8 との距離間隔 f_1 の値が 3 mm よりも小さ過ぎると、例えば、T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 が接近し過ぎ、後続 M I G 側の消耗ワイヤ 1 8 から発生したスパッタの一部が先行 T I G 側の非消耗電極 1 3 に付着して非消耗電極 1 3 を損傷させることがあり、しかも、T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 の挙動も不安定になり易い。一方、非消耗電極 1 3 と消耗ワイヤ 1 8 との距離間隔 f_1 が 9 mm よりも大き過ぎると、T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 で形成する 1 つの溶融プール 2 4 の形状が細長く不安定になり易く、所望の溶接ビード及び溶接断面部が得られない場合がある。従って、非消耗電極 1 3 の先端部の延長線が継手母材の溶接線 6 - 1 と交差

する位置から消耗ワイヤ 18 の先端部までの両電極間の距離間隔 f_1 は、3 ~ 9 mm の範囲にすると良い。

【0076】

更に、継手母材の溶接線 6 - 1 から非消耗電極 13 の先端部までの電極高さ f_2 が 3 mm よりも小さ過ぎると、例えば、TIG アーク 22 の短縮に伴うアーク電圧低下及び入熱減少等によって溶融不足が発生することがあり、また、非消耗電極 13 の先端部が溶融プール 24 の表面上に接近しているので、溶融プール 24 の挙動変化や飛散したスパッタの影響を受け易くなる。一方、継手母材の溶接線 6 - 1 から非消耗電極 13 の先端部までの電極高さ f_2 が 9 mm よりも大き過ぎると、TIG アーク 22 の延長に伴うアーク不安定化及び入熱増加等によって、伝熱銅フィン 3 が過剰に溶融されてアンダーカットの発生要因になることがあり、また、ガスシールド性も低下し易いので好ましくない。従って、継手母材の溶接線 6 - 1 から非消耗電極 13 の先端部までの電極高さ f_2 は、3 ~ 9 mm の範囲にすると良い。

【0077】

図 9 に示すように、TIG 溶接電源 15 は、給電ケーブル 16 - 1、16 - 2 を経由して TIG ユニット 12 内の非消耗電極 13 と継手母材の内筒 1 との間に接続され、かつ、非消耗電極 13 側の極性を負極(マイナス)とし、内筒 1 側の極性を正極(プラス)として、TIG アーク 22 を溶接箇所が発生させる。他方の MIG 溶接電源 20 (ワイヤ送給装置も含む)は、給電ケーブル 21 - 1、21 - 2 を経由して MIG ユニット 17 内の消耗ワイヤ 18 と継手母材の内筒 1 との間に接続され、かつ、消耗ワイヤ 18 側の極性を正極(プラス)とし、内筒 1 側の極性を負極(マイナス)として、MIG アーク 23 を TIG アーク 22 の後方近傍に発生させる。

【0078】

先行 TIG 側の非消耗電極 13 を流れる第 1 の溶接電流 I_a と、後続 MIG 側の消耗ワイヤ 18 (CuSi ワイヤ)を流れる第 2 の溶接電流 I_b とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合う 2 つの TIG アーク 22 と MIG アーク 23 で 1 つの溶融プール 24 を形成し、溶接進行方向 25 に移動させながら溶接するようにしている。

【0079】

非消耗電極 13 を流れる第 1 の溶接電流 I_a と、消耗ワイヤ 18 を流れる第 2 の溶接電流 I_b との比 (I_a / I_b) は、約 0.8 ~ 1.2 の範囲に設定して出力させると良い。また、第 1 及び第 2 の溶接電流 I_a 、 I_b は、両方共に直流電流を給電して、直流同士の 2 つのアークを形成すると良い。

【0080】

非消耗電極 13 を流れる第 1 の溶接電流 I_a と、消耗ワイヤ 18 を流れる第 2 の溶接電流 I_b との比 ($I_a / I_b = 0.8 \sim 1.2$) の範囲で直流同士の溶接電流 I_a 、 I_b を出力させることで、相互に反発し合う TIG アーク 22 と MIG アーク 23 が略下向き方向に偏向した状態で持続されると共に、1 つの溶融プール 24 を安定に形成することができる。また、消耗ワイヤ 18 の先端部からの溶滴が飛散することなく、溶融プール 24 内へ容易に溶滴移行し易くなり、良好な溶接ビード及び溶接断面部を有する溶接ビード及び溶接断面部 7 - 1 を得ることができる。

【0081】

非消耗電極 13 を流れる第 1 の溶接電流 I_a と、消耗ワイヤ 18 を流れる第 2 の溶接電流 I_b との比 (I_a / I_b) が小さ過ぎる場合又は大き過ぎる場合には、相互に反発し合う TIG アーク 22 と MIG アーク 23 に大きな偏差が生じるため、電流が大きい側のアーク力の影響により電流の小さい側のアーク挙動が不安定となって溶接不良になり易い。

【0082】

一方、例えば、TIG 側の極性を負極(マイナス)から正極(プラス)に反転させた場合は、溶接中にタングステン等の非消耗電極 13 が高温過熱によって激しく消耗するため、アーク挙動が不安定となって溶接不良になり易く、時間の長い溶接が困難となる。また、TIG アーク 22 と MIG アーク 23 が相互に引き合う方向に偏向するため、MIG 側の消

10

20

30

40

50

耗ワイヤ 18 の溶滴が、TIG 側の非消耗電極 13 に溶着して短時間で電極消耗が発生することもある。他方の MIG 側の極性を正極(プラス)から負極(マイナス)に反転させた場合には、不安定なアーク挙動及びスパッタの発生を伴うため溶接不良になり易く、時間の長い溶接が困難となる。

【0083】

図 9 中には、説明し易くするために中央付近の溶接線 6 - 1 上に TIG アーク 22 と MIG アーク 23 及び 1 つの溶融プール 24 を図示しているが、実際に TIG アーク 22 と MIG アーク 23 を発生させる箇所は、溶接すべき隅肉継手部 5 - 1 の溶接線 6 - 1 上の溶接開始位置である。

【0084】

例えば、溶接対象の継手(内筒 1 及び伝熱銅フィン 3)側を回転駆動装置等で回転移動させて、溶接すべき隅肉継手部 5 - 1 の溶接線 6 - 1 を鉛直方向に姿勢変更した後に、溶接線 6 - 1 上に一体構造の TIG - MIG 溶接トーチ 11 を下向姿勢で位置決めする。その後、TIG - MIG 溶接トーチ 11 を溶接線 6 - 1 上の溶接開始位置に停止させる。TIG - MIG 溶接トーチ 11 内の TIG ユニット 12 の開口部と、MIG ユニット 17 の開口部との両方から Ar ガスと He ガスとの混合ガスを溶接開始位置及びその近傍で流出させながら、先行 TIG の非消耗電極 13 の先端部から電極負極(マイナス)の TIG アーク 22 を発生させ、その第 1 の溶接電流 I_a を定常値まで到着させた直後又は所定時間経過後に、後続 MIG の消耗ワイヤ 18 として送給する CuSi ワイヤからワイヤ正極(プラス)の MIG アーク 23 を、TIG アーク 22 の後方近傍に発生させると共に、その第 2 の溶接電流 I_b を定常値まで到達させ、相互に反発し合う TIG アーク 22 と MIG アーク 23 で 1 つの溶融プール 24 を、溶接開始位置に発生させた直後又は所定時間経過後に、TIG - MIG 溶接トーチ 11 を走行させて、1 つの溶融プール 24 を溶接線方向に移動させながら隅肉継手部 5 - 1 の溶接終了位置まで溶接するようにしている。

【0085】

このように溶接施工することで、上述したように、隅肉継手部 5 - 1 の溶接開始位置から終了位置までの溶接線 6 - 1 上に良好な溶接ビード及び溶接断面部を有する溶接部 7 - 1 を得ることができる。

【実施例 2】

【0086】

図 10 は、本発明の実施例 2 としての MIG 溶接トーチの概略構成及びトーチ配置の一例を示すものである。該図に示す例は、上述した TIG - MIG 溶接トーチ 11 の代わりに、MIG 溶接トーチ 26 を使用する場合の例である。

【0087】

該図に示す如く、MIG 溶接トーチ 26 を使用する場合には、消耗ワイヤ 18 の CuSi ワイヤと継手母材の内筒 1 との間に給電ケーブル 29 - 1、29 - 2 を経由して MIG 溶接電源 28 が接続されている。また、MIG 溶接トーチ 26 は、上述の TIG - MIG 溶接トーチ 11 の場合と同様に、溶接すべき溶接線 6 - 1 に対して、走行移動可能な長尺アーム(図示せず)の先端部又は多関節可動式の溶接ロボット(図示せず)の手首部に取付治具(図示せず)を介して略下向姿勢に取付けられ、かつ、溶接線 6 - 1 の方向に配置されている。また、本実施例での MIG 溶接トーチ 26 は、溶接進行方向に対して、略垂直又は前進角 + 3 で傾斜配置されている。

【0088】

なお、前進角 + 3 は、記載を省略しているが、図 8 び図 9 に示した TIG - MIG 溶接トーチ 11 内の MIG ユニット 17 の傾斜角 + 2 に該当するトーチ傾斜角度であり、図 10 に示す MIG 溶接トーチ 26 を使用する場合には、前進角 + 3 を 0 ~ 30 度の範囲にすると良い。好ましくは 0 ~ 15 度の範囲に配置するとさらに良い。この前進角 + 3 を 30 度よりも大きくして溶接すると、MIG アークが前方に傾斜し過ぎることから、MIG アークによって溶融さる消耗ワイヤ 18 の溶滴が前方方向へ飛び散り(スパッタ多発)し易く、また、ガスシールド性も低下し易いので好ましくない。

10

20

30

40

50

【0089】

M I G 溶接を行う場合は、M I G 溶接トーチ 26 の先端部の開口部から A r ガスと H e ガスとの混合ガスからなる M I G 用シールドガス 27 を流出させながら、ワイヤ正極(プラス)の M I G アーク(図示せず)を隅肉継手部 5 の溶接線 6 - 1 上の溶接開始位置より発生させ、1つのアークで1つの溶融プールを形成させてから、M I G 溶接トーチ 26 を溶接進行方向に移動させながら下向姿勢で溶接するようにしている。

【0090】

直流電流を給電するワイヤ正極(プラス)の直流 M I G アークによる溶接も可能であるが、高いピーク電流と低い電流とを交互に繰り返すパルス M I G アークを使用すると、直流 M I G アークの場合よりもスパッタの発生が少ない溶接を行うことができる。

10

【0091】

溶接すべき内筒 1 側の伝熱銅フィン 3 の片方端面部と隅肉継手部 5 又は外筒 2 側の伝熱銅フィン 3 の他方端面部と隅肉継手部 5 の角度 θ_1 は、 $\theta_1 = 120^\circ \pm 15^\circ (105^\circ \sim 135^\circ)$ の範囲の広角傾斜に配置(構成)されており、また、内筒 1 及び外筒 2 の両面に形成された伝熱銅フィン 3 の両方端面部との隅肉継手部 5 の角度 θ_1 も上記値と同じ範囲内に配置すると良い。また、他方の内筒 1 側又は外筒 2 側の傾斜角度 θ_2 は、水平線に対して、 $\theta_2 = 30^\circ \pm 15^\circ (15^\circ \sim 45^\circ)$ の範囲となるように配置されている。

【0092】

このような角度範囲で継手部材(伝熱銅フィン 3 と内筒 1 又は伝熱銅フィン 3 と外筒 2)を傾斜配置することで、M I G 溶接トーチ 26 (T I G - M I G 溶接トーチ 11 の場合も同様)を略垂直の下向姿勢に配置可能となり、溶接トーチ等の操作性が良くなると共に、溶接前の準備作業及び溶接作業等を向上することができる。

20

【0093】

なお、図 1 及び図 2 で説明したように、内筒 1 及び外筒 2 と複数枚(N枚)の伝熱銅フィン 3 との間に区分けされた各空間 4 には、使用済燃料の集合体から法線状に放出される放射線を遮蔽する物質(レジン)が別途実施するレジン充填工程で充填される。このため、図 4 ~ 7 及び図 10 に示したように、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 を 135° よりも大きくすると、上述したレジンの充填によって放射線を効果的に遮蔽することができるが、溶接施工時に内筒 1 の外面及び外筒 2 の内面の間に溶接すべき各伝熱銅フィン 3 の板幅を事前に大きく製作する必要がある。

30

【0094】

このため、伝熱銅フィン 3 の製作コスト増加になると共に、隣接し合う各伝熱銅フィン 3 の溶接時に、溶接トーチの一部が隣の伝熱銅フィン 3 に接触して溶接施工が実施できなく可能性が高い。

【0095】

一方、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 を 105° よりも小さくすると、伝熱銅フィン 3 の板幅は縮小でき、また、溶接施工もし易くなるが、使用済燃料の集合体から放出される放射線量の一部が各レジンの間(伝熱銅フィン 3 及び隙間)から透過することが予想され、この放射線量の透過漏れ等によって、放射線遮蔽能力が低下する可能性が高まるので好ましくない。

40

【0096】

従って、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 を $105^\circ \sim 135^\circ$ の範囲の広角傾斜に配置することで、溶接施工の実施や放射線遮蔽の能力確保を可能にすることができる。

【0097】

また、内筒 1 側又は外筒 2 側の傾斜角度 θ_2 は、M I G 溶接トーチ 26 (T I G - M I G 溶接トーチ 11 の場合も同様)を略垂直の下向姿勢に配置するための角度であることから、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 の大きさに対応して変化させれば良く、例えば、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 を小さくする場合は、他方の内筒 1 側又は外筒 2 側の傾斜角度 θ_2 を大きくする方向に変化させ、反対に、隅肉継手部 5 の角度 θ_1 を大きくする場合には、傾斜角度

50

2を小さくする方向に変化させると良い。

【0098】

図8及び図9に示した一体構造のTIG-MIG溶接トーチ11及び図10に示したMIG溶接専用のMIG溶接トーチ26は、図8に一例として示すように、駆動装置311によって走行移動可能な長尺アーム31の先端部(又は多関節可動式の溶接ロボットの手首部)に取付治具を介して略下向姿勢に取付け、又は長尺アーム31の先端部に取付治具及び左右・上下移動可能な2軸駆動テーブルを介して略下向姿勢に取付けると共に、溶接線方向に配置されている。また、伝熱銅フィン3の銅板と内筒1又は外筒2の鋼材と隅肉継手部に対して、パス毎に溶接すべき隅肉継手部の溶接線の溶接開始位置から終了位置まで、溶接制御機器201による長尺アーム31の走行指令、TIG溶接電源15及びMIG溶接電源20への出力指令によって、一体構造のTIG-MIG溶接トーチ11又はMIG溶接トーチ26の走行動作及び溶接動作を実行させながら、先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接を隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接が施工されている。

10

【0099】

このようにして、継手傾斜の隅肉継手部の溶接線6-1上に、MIG溶接トーチ26又はTIG-MIG溶接トーチ11を下向配置して溶接施工することで、溶接線の開始位置から終了位置まで安定に溶接することができると共に、良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることが可能となる。

【0100】

20

図11及び図12は、本実施例に係わるMIT溶接又は先行TIGと後続MIGの複合溶接における伝熱銅フィン3の両端面形状と継手配置及びトーチ配置の一例を示すものである。

【0101】

図11に示す伝熱銅フィン3(長さ方向短縮)の両端面部の形状は、伝熱銅フィン3の表面に対して、 $30\text{度} \pm 15\text{度}$ の範囲で傾斜(端面傾斜角: $15^\circ \sim 45^\circ$)している傾斜面形状38であり、内筒1の表面(又は外筒2の表面)と略平行な傾斜面に予め加工してある。この傾斜面形状38を有する伝熱銅フィン3を備えた隅肉継手部の溶接線上に、MIG溶接トーチ26を配置した事例である。

【0102】

30

一方、図12に示す伝熱銅フィン3の両端面部の形状は、傾斜面がない端面($\theta_1 = 0$ に相当)の平坦面形状39である。この平坦面形状39を有する伝熱銅フィン3を備えた他の隅継手部の溶接線上に、TIG-MIG溶接トーチ11を配置した事例である。

【0103】

これらの例では、先行TIG側の非消耗電極13を主に図示して、後続MIG側の消耗ワイヤ18の方は省略している。伝熱銅フィン3の両端面部が平坦面形状39の場合は、傾斜面形状38の場合と比べて加工コストを低減することができる。図11中に記載したMIG溶接トーチ26と、図12中に記載したTIG-MIG溶接トーチ11とを入れ替えて、溶接すべき隅肉継手部の溶接線上に配置することもできる。

【0104】

40

一方、内筒1側(又は外筒2側)と伝熱銅フィン3の片方端面部との隅肉継手部5の継手角度 θ_1 については、伝熱銅フィン3の両端面部が傾斜面形状38の場合でも平坦面形状39の場合でも同様である。

【0105】

上述したように、内筒1側(又は外筒2側)と伝熱銅フィン3の片方端面部との隅肉継手部5の継手角度 θ_1 は、 $\theta_1 = 120\text{度} \pm 15\text{度}$ ($105^\circ \sim 135^\circ$)の範囲の広角傾斜に形成されている。他方の内筒1側(外筒2の場合も同様)の傾斜角度 θ_2 は、水平線に対して、 $\theta_2 = 30\text{度} \pm 15\text{度}$ ($15^\circ \sim 45^\circ$)の範囲に配置されている。また、隅肉継手部5の底面には、ギャップGがあつたりなかつたりすることから、また、MIG溶接トーチ26(又はTIG-MIG溶接トーチ11)の位置を伝熱銅フィン3側にシフト

50

させる第 1 の距離 S_1 (又は第 2 の距離 S_2) が変化することがあることから、ギャップ G と第 1 の距離 S_1 及び第 2 の距離 S_2 を同図中に記載している。

【0106】

なお、第 1 の距離 S_1 は、伝熱銅フィン 3 の端面角部 b 点から溶接線 6 に該当する位置まで、消耗ワイヤ 18 の先端部 (又は非消耗電極 13 の延長線と伝熱銅フィン 3 表面との交差した交点位置) をシフトさせた長さ (距離) のことである。他方の第 2 の距離 S_2 は、伝熱銅フィン 3 表面の延長線が内筒 1 表面 (又は外筒 2 表面) と交差する位置の a 点から b 点を通過した上部にある溶接線の位置まで、消耗ワイヤ 18 (又は非消耗電極 13) をシフトさせた長さ (距離) のことである。

【0107】

また、第 1 の距離 S_1 と第 2 の距離 S_2 との間には相関関係があり、 $S_2 = S_1 + T_1 / \tan(180 - \theta) - T_1 \times \tan \theta + G / \sin(180 - \theta)$ の式で示される。 θ の値が上述した $30^\circ \pm 15^\circ$ の場合は、傾斜面形状 38 の伝熱銅フィン 3 であり、かつ、 $\theta = 180 - 90$ 度の時の S_2 は、 $S_2 = S_1 + G / \sin(180 - \theta)$ の式に簡略することができる。また、 θ の値が 0° の場合には、平坦面形状 39 の伝熱銅フィン 3 であり、その時の S_2 は、 $S_2 = S_1 + T_1 / \tan(180 - \theta) + G / \sin(180 - \theta)$ の式に簡略することができる。

【0108】

第 1 の距離 S_1 の範囲位置又は第 2 の距離 S_2 の範囲位置の溶接線上に、TIG-MIG 溶接トーチ 11 又は MIG 溶接トーチ 26 を略下向姿勢に設定して、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接又は MIG 溶接によって、隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することで、溶接線の開始位置から終了位置まで安定に溶接することができると共に、良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることが可能となる。

【実施例 3】

【0109】

図 13 及び図 14 は、本発明の実施例 3 としての実施例 1 に採用される溶接装置であり、長尺アームの先端部に TIG-MIG 溶接トーチ及びガイドローラを配備した一例を示すものである。

【0110】

該図に示す如く、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接を行う一体構造の TIG-MIG 溶接トーチ 11 は、取付治具 34、35 及び左右・上下移動可能な 2 軸駆動テーブル 36 を介して長尺アーム 31 の先端部に配置 (取付) されている。2 軸駆動テーブル 36 は、溶接線方向に対する左右方向及び上下方向の駆動が可能なものであり、この 2 軸駆動テーブル 36 によって、TIG-MIG 溶接トーチ 11 の左右・上下方向の位置を自動で動かすことができる。

【0111】

また、回転移動可能なガイドローラ 32 は、TIG-MIG 溶接トーチ 11 よりも先行する右位置にあって、長尺アーム 31 の下側に配備され、かつ、溶接線から近距離だけ離れた伝熱銅フィン 3 の表面部と内筒 1 側の表面部 (又は外筒 2 側の表面部) との両面に接触回転するように配備されている。このガイドローラ 32 の接触回転によって、TIG-MIG 溶接トーチ 11 を隅肉継手部の溶接線方向へ容易に走行案内することができる。

【0112】

また、隅肉継手部の溶接線の曲がりや溶接による変形等が小さく、事前の位置決めも正確な継手の溶接であれば、スリット光切断センサ等の計測機器を使用することなく、ガイドローラ 32 の接触回転によって、TIG-MIG 溶接トーチ 11 を隅肉継手部の溶接線方向に走行案内しながら、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接を隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置までの溶接施工を行うことができると共に、良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることが可能である。

【0113】

一方、37 は、輻射熱や飛散物を遮蔽する遮蔽板であり、溶接線方向に溶接を行う TIG

10

20

30

40

50

G - M I G 溶接トーチ 1 1 (又は M I G 溶接トーチ 2 6) と、この T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 (又は M I G 溶接トーチ 2 6) よりも前方位置で、かつ、隅肉継手部の溶接線から近距離だけ離れた伝熱銅フィン 3 の表面部と内筒 1 側の表面部又は外筒 2 側の表面部との両面に接触回転動するように配備した回転移動可能なガイドローラ 3 2 との間にあり、かつ、溶接線と略直角方向の上部位置で、長尺アーム 3 1 の先端部の下側に配備されている。

【 0 1 1 4 】

この遮蔽板 3 7 の配備によって、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 又は M I G 溶接トーチ 2 6 による溶接中に発生する輻射熱やスパッタ、ヒューム等の飛散物を遮蔽することができる。また、同時に先行位置にあるガイドローラ 3 2 を保護することも同時にできる。

【 0 1 1 5 】

また、図 8、図 1 1 ~ 1 4 に示すように、溶接装置は、少なくとも先行 T I G と後続 M I G との複合溶接が可能な一体構造の T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 と、後続 M I G 側の消耗ワイヤ 1 8 であるシリコン入りの C u S i ワイヤと、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 の先端部から隅肉継手部の溶接部分及びその近傍に向けてガスを流出させる A r と H e との混合ガスからなる第 1 のシールガス 1 4 及び第 2 のシールドガス 1 9 と、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 をアーム先端部に取付治具 3 5 を介して取付可能で、かつ、溶接方向に走行移動可能な長尺アーム 3 1 と、先行 T I G の非消耗電極 1 3 の極性を負極(マイナス)とし、隅肉継手側の極性を正極(プラス)とした給電を行う T I G 溶接電源 1 5 と、他方の後続 M I G の消耗ワイヤ 1 8 の極性を正極(プラス)とし、隅肉継手側の極性を負極(マイナス)とした給電及びワイヤ送給を行う M I G 溶接電源 2 0 とを備えている。

【 0 1 1 6 】

このような溶接装置によって、隅肉継手部の溶接線 6 - 1 の開始位置及び近傍で、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 の先端部から A r + H e との混合ガスを流出させながら、T I G 溶接電源 1 5 から給電する第 1 の溶接電流 I_a と、M I G 溶接電源 2 0 から給電する第 2 の溶接電流 I_b との比 (I_a / I_b) を 0.8 ~ 1.2 の範囲で出力させ、先行 T I G の非消耗電極 1 3 に流れる第 1 の溶接電流 I_a と、後続 M I G の消耗ワイヤ 1 8 に流れる第 2 の溶接電流 I_b とで生じる反発作用の磁力によって、相互に反発し合う 2 つのアークを隅肉継手部の溶接開始位置に発生させると共に、反発し合う T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 で 1 つの溶融プール 2 4 を形成させ、T I G アーク 2 2 と M I G アーク 2 3 及び 1 つの溶融プール 2 4 による複合溶接によって、隅肉継手部の溶接線 6 - 1 の開始位置から終了位置まで溶接施工することができる。

【 0 1 1 7 】

これによって、安定に溶接することができると共に、良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることが可能となる。

【 0 1 1 8 】

なお、図 1 3 及び図 1 4 に示した実施例では、一体構造の T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 の配置例を記載しているが、M I G 溶接トーチ 2 6 に交換して M I G 溶接を行うようにすることもできる。また、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 は、取付治具 3 4、3 5 及び 2 軸駆動テーブル 3 6 を介して長尺アーム 3 1 の先端部に配置しているが、2 軸駆動テーブル 3 6 を搭載せずに、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を長尺アーム 3 1 の先端部に配置することもできる。

【 0 1 1 9 】

更に、本実施例では、長尺アーム 3 1 を右側方向に走行移動させて、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を右側方向に移動させながら溶接動作を行うようにしているが、長尺アーム 3 1 を右側方向と反対側左側方向に走行移動させる場合には、ガイドローラ 3 2 を先頭位置、T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 を後続位置に配置代えすると共に、先行 T I G - 後続 M I G になるように 1 8 0 度回転することで、左側方向に移動させながら正常に溶接動作を行うことができる。

【 0 1 2 0 】

また、上述したように、伝熱銅フィン 3 の表面部と内筒 1 側の表面部又は外筒 2 側の表

10

20

30

40

50

面部との両面に接触回転動するように、ガイドローラ 32 を長尺アーム 31 の下側に配備し、ガイドローラ 32 の接触回転動によって T I G - M I G 溶接トーチ 11 を溶接線方向へ走行案内させながら、先行 T I G と後続 M I G、T I G アーク 22 と M I G アーク 23 及び 1 つの溶融プール 24 による複合溶接によって、隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工することで、安定に溶接することができると共に、良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることが可能となる。

【0121】

また、図 13 及び図 14 に示した実施例では、T I G - M I G 溶接トーチ 11 を長尺アーム 31 に配置しているが、長尺アーム 31 の代わりに、多関節可動式の溶接ロボットを用い、T I G - M I G 溶接トーチ 11 (又は M I G 溶接トーチ 26) を溶接ロボットの手首部に配置 (取付) して、トーチ走行移動させながら、先行 T I G と後続 M I G との複合溶接 (又は M I G 溶接) を隅肉継手部の溶接線の開始位置から終了位置まで溶接施工するようにしても良い。

10

【0122】

次に、本発明者等が実際に行った溶接試験の方法及び結果について説明する。

【0123】

先ず、銅と鋼との異材の隅肉継手部 5 のギャップ G やトーチ位置又はワイヤ位置をシフトさせる第 1 及び第 2 の距離 S1 及び S2 が変化する可能性が高いことから、溶接品質に及ぼす影響や溶接条件裕度を確認するため、ギャップ G 及び第 1 の距離 S1 を変化させる溶接試験を行い、溶接品質等を評価した。また、ワイヤ送り速度とワイヤ溶着断面積及びのど厚の関係についても調査した。更に、鋼側の溶込み深さと希釈率 (溶融比率) 及び割れの関係等を調査するため、鋼板表面に C u S i ワイヤを直接溶接する試験も行った。

20

【0124】

M I G 溶接試験では、板厚 5 mm の銅板 (C 1 0 2 0 P) と板厚 1.6 mm の炭素鋼板 (S M 4 0 0 A) との隅肉継手を用い、また、T I G - M I G 複合溶接試験では、板厚 5 mm の銅板 (C 1 0 2 0 P) と板厚 5.0 mm の炭素鋼板 (S M 4 0 0 A) との隅肉継手を用いた。溶接ワイヤは 1.2 mm 径の C u S i ワイヤ (M G 9 6 0)、また、シールドガスは A r ガスと H e ガス (50 ~ 70 %) との混合ガスを用いた。

【0125】

図 15 は、本発明に係わるワイヤ送り速度 W f とワイヤ溶着断面積 A w 及びのど厚 L の関係を示すものであり、ワイヤ溶着部の断面積を二等辺三角形と仮定した時の論理のど厚 L0 (溶込みなしの計算値)、実際に溶接試験した M I G 溶接部及び T I G - M I G 複合溶接部ののど厚 L (溶込みありの実測値)、その溶接断面写真の一例をそれぞれ併記している。

30

【0126】

M I G 溶接試験では、パルス電流波形を使用すると共に、溶接速度を抑制 (204 mm/分) し、ワイヤ送り速度 W f を 6 ~ 9 m/分 (溶接電流 165 ~ 260 A) を変化させて溶接した。また、T I G - M I G 複合溶接試験では、溶接速度を 350 mm/分に増加すると共に、ワイヤ送り速度 W f を 10 ~ 12 m/分 (M I G 電流 300 ~ 360 A、T I G 電流 300 ~ 360 A) を増加し変化させて溶接した。図 15 は、その時の結果を示すものである。

40

【0127】

銅板と鋼板との溶接断面部は、図中の溶接断面写真のように、ビード表面が凸形状 (曲線形状) で、かつ、銅板側にも溶込みを有するため、図中 及び で示す溶接断面部ののど厚 L は、図中 で示す論理のど厚 L0 よりも大きく、また、伝熱銅フィンに該当する銅板の板厚 (T1 = 5 mm) よりも大きく形成されている。更に、T I G - M I G 複合溶接の場合には、T I G アークと M I G アークで加熱溶融するため、M I G 溶接の場合と比べて、入熱量 Q が大きく、銅側の溶融が深くなるため、ワイヤ溶着断面積 A w (図中 で示す) が少なくても、のど厚 L は銅板の板厚 (T1 = 5 mm) よりも大きく形成することができる。

50

【0128】

このような試験結果から、ワイヤ溶着断面積 A_w を約 $30 \sim 55 \text{ mm}^2$ の範囲 ($30 \leq A_w \leq 55 \text{ mm}^2$) に設定して溶接すれば、のど厚 L は板厚 T_1 と同等の 5 mm 以上 ($L \geq T_1 = 5 \text{ mm}$) に形成することができると判断した。また、溶接電流と電圧及び溶接速度から入熱量 $Q (\text{kJ/cm})$ を概算した結果、約 $Q = 12 \sim 35 \text{ kJ/cm}$ の範囲 ($12 \leq Q \leq 35 \text{ kJ/cm}$) で良いことが分った。即ち、ワイヤ溶着断面積 A_w が少な過ぎると (30 mm^2 以下)、入熱不足及び溶融不足による不良、のど厚 L 不足になり易い。また、ワイヤ溶着断面積 A_w が多過ぎると (55 mm^2 以上)、溶融金属の垂れ下がりやアンダーカット等が発生し易い。

【0129】

図16は、銅板の端面平坦面継手及び端面傾斜面継手のMIG溶接におけるトーチ位置のシフト量 S_2 と溶接部ののど厚 L 及びビード幅 W との関係を示すものである。なお、図中の \times 印は、鋼側との接合不足及び強度不足のため、溶接断面部の切断中に溶金底部(溶接金属底面部)と鋼母材表面部との境界から破断した溶接データである。

【0130】

また、図17は、トーチ位置(ワイヤ位置)のシフト量 S_2 (第2の距離 S_2) を変化させてMIG溶接した時の端面平坦面継手と端面傾斜面継手の代表的な溶接ビード外観及び溶接部断面写真を示すものである。

【0131】

図16に示すように、MIG溶接部のビード幅 W は、シフト量 S_2 の増加に伴って減少する傾向にあるが、のど厚 L の方は、同程度又は若干増加しており、何れも銅板の板厚 ($T_1 = 5 \text{ mm}$) よりも大きく形成されている。また、端面平坦面継手の場合には、継手底部に開口部(ギャップに相当する大きさ: 2.9 mm) があるため、溶接中に溶融金属の一部が開口部内に流入することから、端面傾斜面継手の場合と比べると、のど厚 L が約 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 程小さくなり、他方のビード幅 W は約 $1 \sim 1.4 \text{ mm}$ 程大きくなっている。また、端面傾斜面継手にギャップ ($G = 0 \sim 2 \text{ mm}$) がある場合でも、のど厚 L は何れも銅板の板厚 ($T_1 = 5 \text{ mm}$) よりも大きく形成されている。

【0132】

鋼側の最大溶込み深さ c については、図16中に記載していないが、図17の溶接部断面写真に示すように、MIG溶接では溶込み深さ c が浅い形状の溶接断面部が得られる。例えば、端面平坦面継手の場合には、トーチ位置のシフト量 S_2 (第2の距離 S_2) が 0.9 mm の時(図17の(1))で約 0.37 mm 、 4.9 mm の時(図17の(2))で約 0.12 mm であった。シフト量 S_2 が大きい 6.9 mm の時には切断中に破断してしまい、計測することができなかったが、溶込み深さ c はほぼ 0 mm であると判断している。

【0133】

一方、端面傾斜面継手の場合の最大溶込み深さ c は、シフト量 S_2 が 0 mm の時(図17の(3))で約 0.15 mm 、 3 mm の時(図17の(4))で約 0.10 mm であり、また、 S_2 が大きい 5 mm の時には切断中に破断したことから、端面平坦面継手の場合と同様に、溶込み深さ c はほぼ 0 mm であると判断している。

【0134】

上記結果より、溶接部ののど厚 L が銅板の板厚 T_1 以上 ($L \geq T_1 = 5 \text{ mm}$) の形成可能なシフト量 S_2 (第2の距離 S_2) の適正範囲は、端面平坦面継手の場合で約 $S_2 = 0.9 \sim 6 \text{ mm}$ の範囲であり、銅端面角部からの距離 S_1 (第1の距離) に換算すると、 $S_1 = 1.9 \sim 3.1 \text{ mm}$ の範囲となる。端面傾斜面継手の場合は約 $S_2 = 0 \sim 4 \text{ mm}$ の範囲であり、銅端面角部からの距離 S_1 (第1の距離) に換算すると、ギャップ G が $0 \sim 2 \text{ mm}$ の時でも、 $S_1 = 0 \sim 4 \text{ mm}$ の範囲となる。これらの溶接部の溶込み深さ c は約 $0.05 \sim 0.37 \text{ mm}$ であり、接合可能な溶込み深さ c の下限値は 0.05 mm 以上とした。なお、切断中に破断 (\times 印) した試験データは強度不足のために除外した。

【0135】

図18は、炭素鋼表面にCuSiワイヤを直接溶接した時の溶込み深さと鋼側の希釈率

10

20

30

40

50

の関係を示すものであり、M I G 単独溶接結果及び T I G - M I G 複合溶接結果の両方を併記している。

【 0 1 3 6 】

該図に示す希釈率 (%) は、鋼側の溶融断面積を b 、溶接部全体の溶融断面積を $a + b$ とした時に、 $= b / (a + b) \times 100$ の式で算出した。各溶接部の溶融断面積は、約 10 倍に拡大した溶接断面写真から溶接部の輪郭を描くと共に、その輪郭内部の溶融断面積 a 、 b を面積計算ソフトによって算出した後に、希釈率 をそれぞれ算出した。

【 0 1 3 7 】

その結果、ワイヤ送り速度を増加 (M I G 電流も連動して増加) すると、溶込み深さ c 及び希釈率 は増加する傾向にあると共に、溶接速度が速い方が大きくなっている。また、T I G - M I G 複合溶接の場合は、ワイヤ送り速度を 12.2 m/分まで増加して溶接したが、割れは発生しなかった。

10

【 0 1 3 8 】

一方、M I G 単独溶接の場合には、T I G - M I G 複合溶接の場合と比較して、溶込み深さ c 及び希釈率 が大きく、その溶込み深さ c が約 7 mm 以上、希釈率 が約 50 % 以上の時に、溶接ビード表面に開口した割れが発生した。このため、T I G - M I G 複合溶接でも、ワイヤ送り速度をさらに増加すると、溶込み深さ c 及び希釈率 は増加すると推定されることから、割れの発生に至ると考えられる。

【 0 1 3 9 】

このような結果より、割れ発生の境界は、鋼側の希釈率 が 50 % 以上及び溶込み深さ c が約 6 mm 以上であり、これらの値よりも小さい領域では割れ難いと推定される。

20

【 0 1 4 0 】

M I G 溶接の場合には、高いピーク電流と低いベース電流とを繰り返すパルス波形のアークを真下方向に発生させて溶接していることから、アーク力及び指向力等の増加に伴って溶込み深さ c が増加することが考えられる。

【 0 1 4 1 】

これに対して、T I G - M I G 複合溶接の場合には、先行 T I G の非消耗電極及び後続 M I G のワイヤ電極を溶接方向に傾斜させており、かつ、T I G アークと M I G アークを反発し合う方向に偏向させた状態で発生させて溶接していることから、M I G 溶接の場合と比べて、アーク力及び指向力が抑制されて、溶込み深さの増加を抑制していることが考えられる。C u S i ワイヤの代わりに C u ワイヤを用いて、炭素鋼表面に M I G 溶接した場合には、割れ感受性が高まることから、例えば、ワイヤ送り速度が約 10 m/分以上の領域で溶接ビード表面に開口した割れが発生することを確認している。

30

【 0 1 4 2 】

一方、銅と鋼との異材継手溶接では、投入する熱エネルギーがワイヤ溶融と銅及び鋼溶融に分散されるため、深い溶込みにはならず、溶込み深さの浅い溶接部が形成され易いことから、割れは発生し難いものと考えられる。また、シリコン入りの C u S i ワイヤを用いて溶接することで、銅と鋼との異材継手溶接であっても、銅と鋼及び S i とが固溶可能な状態で適度に混合し合って割れのない良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることができる。鋼側の溶込み深さ c が約 6 mm 以下であれば、割れの問題は解消可能である。従って、溶込み深さ c の許容範囲は、0.05 c 6 mm が良い。

40

【 0 1 4 3 】

但し、希釈率 の増加によって溶接部の熱伝導率が減少することが予想されるため、これを抑制する観点から、溶込み深さ c の上限値を 4 mm 以下に制限することが好ましい。

【 0 1 4 4 】

表 1 は、端面平坦面の銅板と炭素鋼との隅肉継手部のギャップ及びトーチ位置のシフト量を変化させて T I G - M I G 複合溶接試験を行った時の溶接条件を示すものである。

【 0 1 4 5 】

本溶接試験では、溶接品質に及ぼす影響や溶接条件裕度を確認するため、隅肉継手部のギャップ G を変化 ($G = 0 \sim 3$ mm) させると共に、トーチ位置のシフト量 S_2 (第 2 の距

50

離 S_2)を変化($S_2 = 3 \sim 9 \text{ mm}$)させ、下向姿勢で先行TIGと後続MIGの溶接試験を行った。板厚 5 mm の銅板(C1020P)と板厚 50 mm の炭素鋼板(SM400A)との隅肉継手であり、溶接ワイヤは 1.2 mm 径のCuSiワイヤ、シールドガスはArガスとHeガスとの混合ガスをそれぞれ用いた(なお、継手配置及びトーチ配置については図8～図12を参照)。

【0146】

【表1】

表 1

番号	TIG出力		MIG出力		溶接速度	ワイヤ速度	キャップ	シフト量
No.	(A)	(V)	(A)	(V)	(mm/min)	(m/min)	G(mm)	S2(mm)
1	305±5	10.5-13	315±5	24-25	350	11.2	0	3
5							0.5	
9							1.0	
13							2.0	
2	305±5	10.5-13.5	315±5	24-25	350	11.2	0	5
6							0.5	
10							1.0	
14							2.0	
17							3.0	
3	305±5	12-13.6	310±5	24-25	350	11.2	0	7
7							0.5	
11							1.0	
15							2.0	
4	305±5	13-14.5	310±5	24-25	350	11.2	0	9
8							0.5	
12							1.0	
16							2.0	

【0147】

表2は、表1に示した溶接条件で溶接試験した時のTIG-MIG複合溶接部の形状寸法と引張試験及び評価結果を示すものである。

【0148】

表2中には、各溶接試験片の前半側及び後半側の2箇所ずつ採取した各溶接断面部ののど厚 L 、ビード垂直高さ H 、溶け込み深さ c の各値及びとその平均値等を記載し、また、同一の溶接試験片の中央部分から採取した各引張試験片(幅 40 mm の溶接継手)の引張荷重及び引張強さを記載すると共に、品質基準を満足するか否かの合否判定の結果をそれぞれ記載している。

【0149】

10

20

30

40

【表 2】

表 2

試験 番号	断面 番号	キ・ャップ	シフト量	のど厚	平均 のど厚	ビード 垂直高さ	平均ビード 垂直高さ	ビード 表面幅	溶込み 深さ	平均 溶込み 深さ	アンダー カット	外観 状況	割れ 有無	品質 判定	引張荷重	引張強さ	強度 判定	総合 評価
No.		G(mm)	S2(mm)	L(mm)		H(mm)		Wh(mm)	c(mm)		(mm)				Wt(N)	σ (N/mm ²)		
1	1S	0	3	6.1	6.40	6.0	6.25	13.3	0.8	0.65	無	良好	無	合格	44900	224.5	合格	合格
	1E			6.7		6.5		13.5	0.5		無	良好	無					
5	5S	0.5		5.6	5.85	5.5	5.80	13.7	1.3	1.25	無	良好	無	合格	45050	225.3	合格	合格
	5E			6.1		6.1		13.1	1.2		無	良好	無					
9	9S	1.0		4.8	5.05	4.3	4.80	12.5	2.2	2.05	無	良好	無	否	31900	159.5	合格	不合格
	9E			5.3		5.3		13.3	1.9		無	良好	無					
13	13S	2.0		4.7	4.65	4.3	4.30	14.2	2.1	2.70	無	良好	無	否	33300	166.5	合格	不合格
	13E			4.6		4.3		11.3	3.3		無	良好	無					
2	2S	0	5	7.8	8.15	7.7	8.10	11.6	0.1	0.10	無	良好	無	合格	25750	128.8	合格	合格
	2E			8.5		8.5		12.0	0.1		無	良好	無					
6	6S	0.5		7.6	7.55	7.2	7.25	12.2	0.3	0.30	無	良好	無	合格	42300	211.5	合格	合格
	6E			7.5		7.3		13.4	0.3		無	良好	無					
10	10S	1.0		7.1	7.50	6.7	6.95	12.7	0.3	0.30	無	良好	無	合格	45000	225.0	合格	合格
	10E			7.9		7.2		12.9	0.3		無	良好	無					
14	14S	2.0		7.5	7.40	7.3	7.70	13.4	0.8	0.70	無	良好	無	合格	45550	227.8	合格	合格
	14E			7.3		8.1		12.0	0.6		無	良好	無					
17	17S	3.0		6.3	6.30	5.0	5.80	12.0	2.6	1.95	0.2	良好	無	合格	44800	224.0	合格	合格
	17E			6.3		6.6		13.2	1.3		無	良好	無					
3	3S	0	7	8.8	8.80	9.4	9.4	12.9	0.0	0.0	無	良好	無	合格	0	切断中 破断	否	不合格
	3E			—	—	—	—	—	—	—	—	良好	無					
7	7S	0.5		8.1	8.25	8.6	8.55	12.7	0.05	0.05	無	良好	無	合格	28100	140.5	合格	合格
	7E			8.4		8.5		12.3	0.05		無	良好	無					
11	11S	1.0		7.8	8.75	8.1	8.15	12.2	0.2	0.35	無	良好	無	合格	45500	227.5	合格	合格
	11E			9.7		8.2		12.4	0.5		0.5	良好	無					
15	15S	2.0		7.6	7.70	7.9	7.95	13.0	0.4	0.50	無	良好	無	合格	45200	226.0	合格	合格
	15E			7.8		8.0		12.0	0.6		0.4	良好	無					
4	4S	0	9	9.3	9.20	9.9	9.75	11.5	0.1	0.10	無	良好	無	合格	43700	218.5	合格	合格
	4E			9.1		9.6		12.4	0.1		0.3	良好	無					
8	8S	0.5		8.8	9.15	9.8	9.50	12.3	0.1	0.10	無	良好	無	合格	44600	223.0	合格	合格
	8E			9.5		9.2		12.0	0.1		0.6	良好	無					
12	12S	1.0		9.9	9.85	8.5	8.65	11.5	0.05	0.05	無	良好	無	否	43550	217.8	合格	不合格
	12E			9.8		8.8		12.1	0.05		1.2	凹み	無					
16	16S	2.0		8.2	8.25	8.1	8.35	11.5	0.4	0.40	無	良好	無	合格	45000	225.0	合格	合格
	16E			8.3		8.6		12.1	0.4		0.4	良好	無					

10

20

30

【0150】

例えば、のど厚Lが板厚5mm未満のもの(No.9とNo.13の2本)、溶込み深さcが4mmを超えるもの(0本)、ビード止端部のアンダーカットが1mmを超えるもの(No.12の1本)、引張荷重Wtが20kN(100N/mm²)未満のもの(No.3は切断中に破断)を不合格としている。他の番号の試験片は、各基準値を満足しているので合格としている。また、表1及び表2中には記載していないが、シフト量S2=1mm、ギャップG=0mmの継手についても溶接試験を実施している。

【0151】

図19は、隅肉継手部のギャップ及びトーチ位置のシフト量を変化させて、TIG-MIG複合溶接試験を行った時の溶接部の品質評価結果及び適正条件領域を示すものである。図19は、横軸に銅端面角部からの距離S1、縦軸にギャップGを示し、その図中に溶接品質評価の合否から適正条件領域及び不適領域を記している。なお、銅端面角部からの距離S1(第1の距離S1)と、トーチ位置のシフト量S2(第2の距離S2)との関係は、上述したように、端面平坦面継手の場合、 $S1 = S2 - \{T1 / \tan(180 - \theta) + G / \sin(180 - \theta)\}$ の簡略式で算出することができる。

【0152】

該図に示す如く、品質基準を満足する適正条件領域(印)は、のど厚不足領域(左側の印)と、強度不足(右側の印)及びアンダーカット過大領域(印)とを除いた中央部分にある。ギャップGが3mm以上の領域では、試験データが1つしかないので不明である

40

50

が、垂れ落ちやのど厚不足等の溶接不良に至る可能性があると考えられる。

【0153】

また、強度不足(右側の 印)及びアンダーカット過大領域(印)内にも品質基準を満足する(印)データがあるが、適正条件領域から外した。更に、左側ののど厚不足領域(印)内にも品質基準を満足する(印)データ($S1 = -1.9$ 、 $G = 0$ mm)があるが、適正条件領域から外した。

【0154】

従って、ギャップGに対する裕度は、 $G = 0 \sim 2$ mm程度か若しくは $G = 0 \sim 3$ mm程度であり、また、銅端面角部からの距離S1に対する裕度は、 $S1 = -0.5 \sim 4$ mm程度であると判断した。若しくは $S1 = 0 \sim 4$ mm程度に限定することもできる。更に、第2の距離S2に置き換えると、 $S2 = 2.5 \sim 7$ mm程度(若しくは $S2 = 3 \sim 7$ mm程度)である。

10

【0155】

このような裕度内の適正領域で溶接施工することで、品質基準を満足する良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることができる。

【0156】

図20は、TIG-MIG複合溶接した溶接部の代表的な溶接断面写真の一実施例であり、図20の(1)はギャップ $G = 0$ mm、シフト量 $S2 = 5$ mmの場合、図20の(2)は、ギャップ $G = 2$ mm、シフト量 $S2 = 5$ mmの場合の場合である。

【0157】

図20の(1)から分かるように、ギャップGが0 mmの場合は、ビード表面が凸形状(曲線形状)で、かつ、銅板の裏側近くまで溶込んだ形状の溶接断面部になり易い。これに対して、図20の(2)から分かるように、ギャップが1 mm又は2 mm程度ある場合には、銅板の溶融促進及び溶融金属のギャップ内への流入によって銅裏側に貫通した形状の溶込みになると共に、鋼側の溶込み深さも増加しており、また、ビード表面が平坦形状の溶接断面部になり易い。何れの場合も、溶接断面部も品質基準を満足している。

20

【0158】

また、TIG-MIG複合溶接の場合には、MIG単独溶接の場合と比べて、溶接電流(TIG電流/MIG電流)が高く、溶接速度も速く、かつ、銅と鋼との隅肉継手部を2つのアークで加熱・溶融するため、銅側の溶込みが深い形状の溶接断面部になり易い。なお、割れについては、いずれの溶接試験片からも認められなかった。

30

【0159】

以上述べたように、本発明によれば、銅と鋼との異材継手の溶接性に優れ、十分な大きさを有するのど厚L及び除熱に有効な熱伝導断面積を確保でき、かつ、割れ等の欠陥がない品質良好な溶接ビード及び溶接断面部を得ることができると共に、除熱性能の向上及び製造コストの低減にも寄与することができる。

【0160】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

40

【符号の説明】

【0161】

1...内筒、2...外筒、3...伝熱銅フィン、4...空間、5、5-1、5-2・・・5-N、8、8-1、8-2・・・8-N...隅肉継手部、6、6-1、6-2・・・6-N、9-1、9-2・・・9-n...溶接線、7...内側溶接部、7-1、7-2・・・7-N、10-1、10-2・・・10-N...溶接ビード及び溶接断面部、10...外側溶接部、11...TIG-MIG溶接トーチ、12...TIGユニット、13...非消耗電極、14...第1の

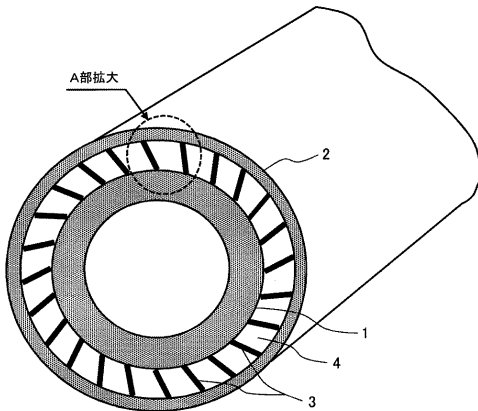
50

シールドガス、15...TIG溶接電源、16-1、16-2、21-1、21-2、29-1、29-2...給電ケーブル、17...MIGユニット、18...消耗ワイヤ、19...第2のシールドガス、20、28...MIG溶接電源、22...TIGアーク、23...MIGアーク、24...溶融プール、25...溶接進行方向、26...MIG溶接トーチ、27...MIG用シールドガス、31...長尺アーム、32...ガイドローラ、33、34、35...取付治具、36...2軸駆動テーブル、37...遮蔽板、38...傾斜面形状、39...平坦面形状、100...伝熱銅フィンの溶接手順、102...ワイヤ溶着断面積決定工程、103...内筒側の第1の溶接工程、105...内筒側のN箇所溶接の繰り返し溶接工程、106...内筒側の少数単位の溶接と検査の繰り返し溶接工程、107、117...内筒側の溶接品質の検査工程、109、116、119、122...補修溶接工程、110...外筒側の第2の溶接工程、112...外筒側のN箇所溶接の繰り返し溶接工程、113...外筒側の少数単位の溶接と検査の繰り返し溶接工程、114、120...外筒側の溶接品質の検査工程、201...溶接制御機器、311...駆動装置。

10

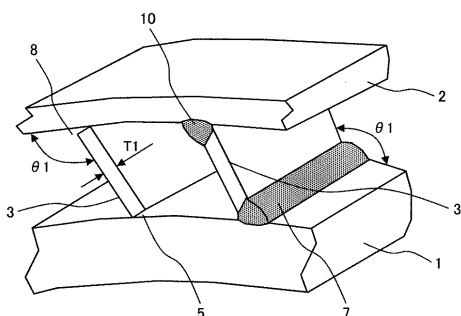
【図1】

図1



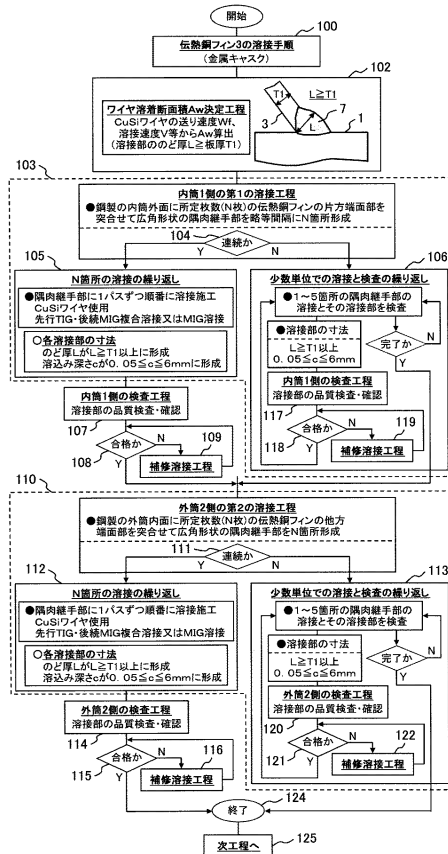
【図2】

図2



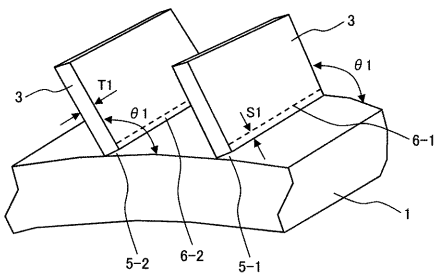
【図3】

図3



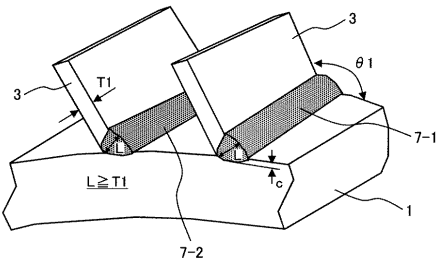
【図 4】

図 4



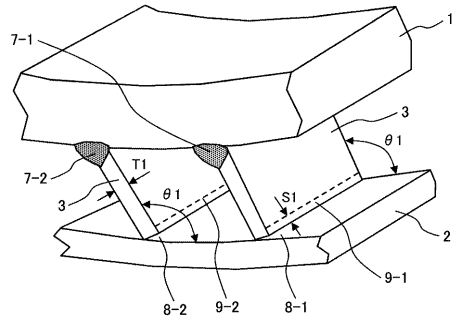
【図 5】

図 5



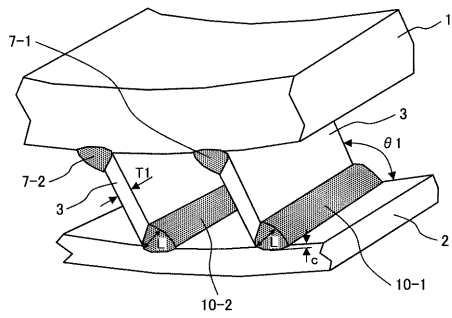
【図 6】

図 6



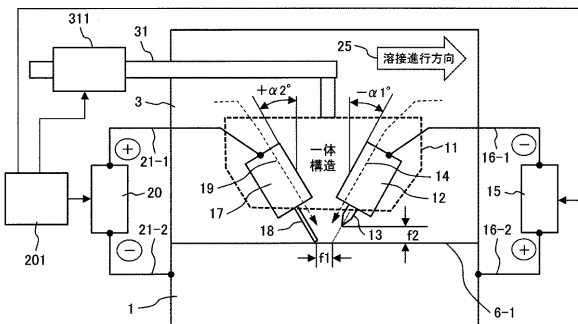
【図 7】

図 7



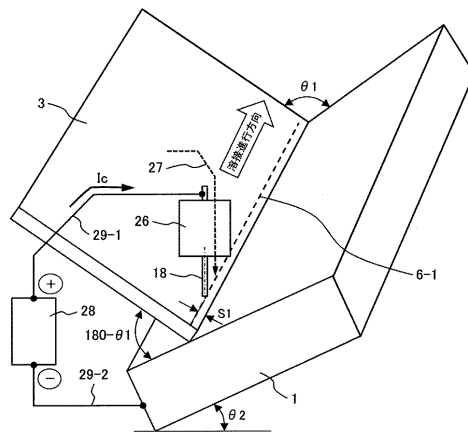
【図 8】

図 8



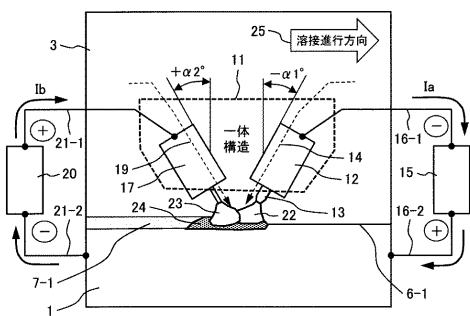
【図 10】

図 10



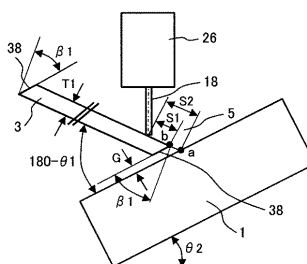
【図 9】

図 9



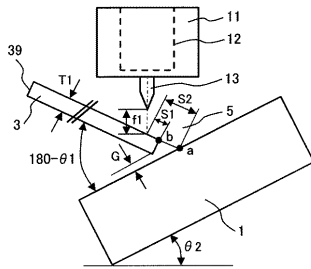
【図 11】

図 11



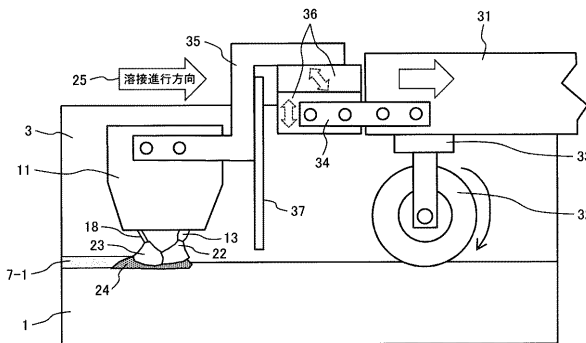
【図 1 2】

図 12



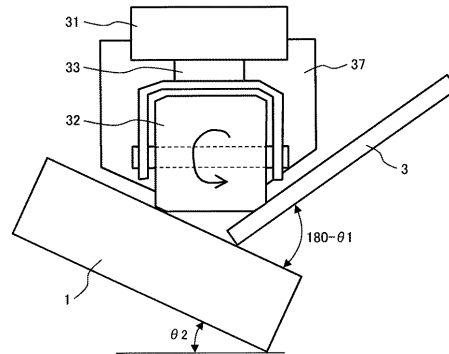
【図 1 3】

図 13



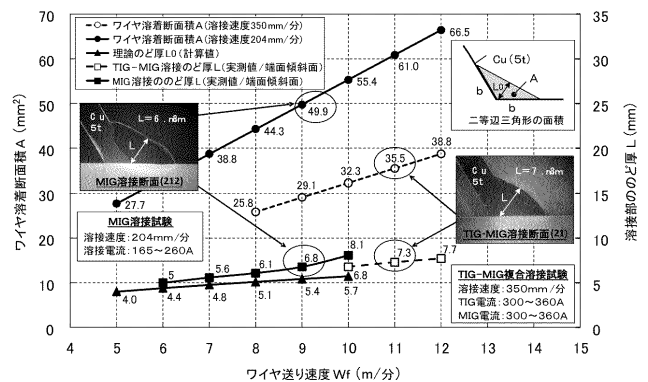
【図 1 4】

図 14



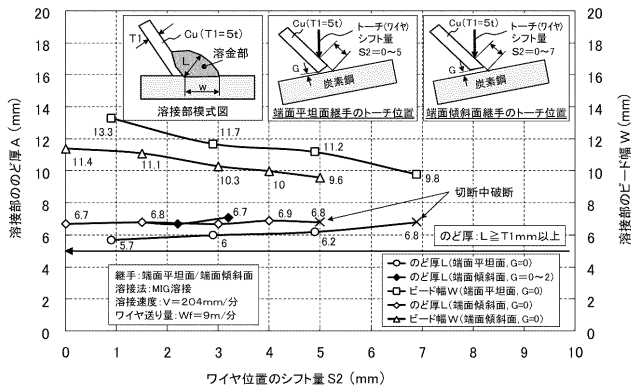
【図 1 5】

図 15



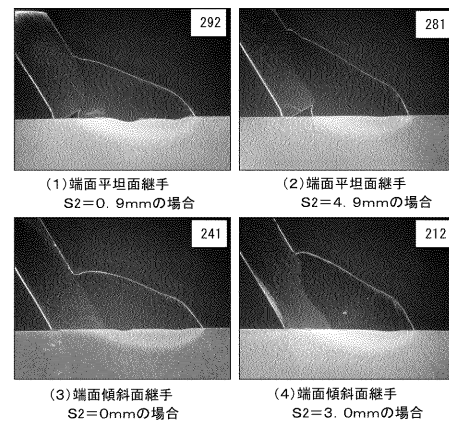
【図 1 6】

図 16



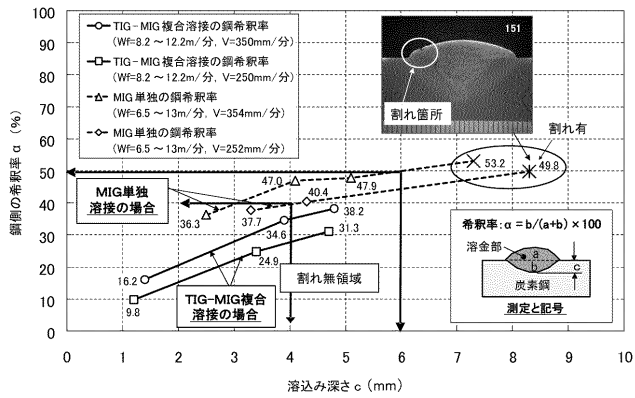
【図 1 7】

図 17



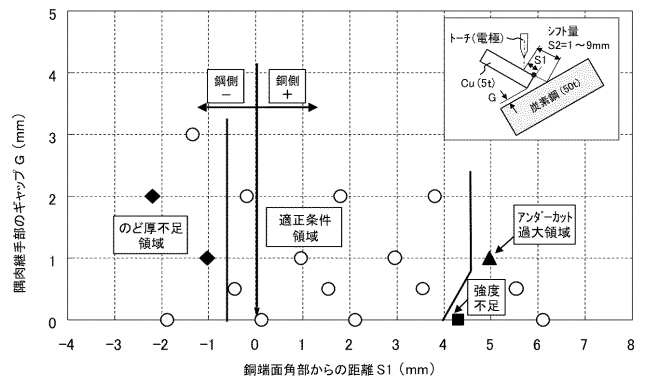
【図 18】

図 18



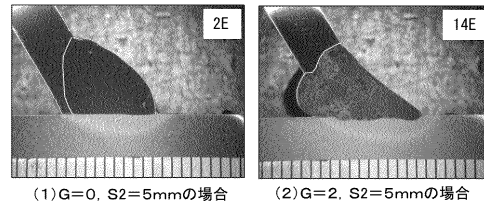
【図 19】

図 19



【図 20】

図 20



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード (参考)		
B 2 3 K 9/173 (2006.01)	B 2 3 K	9/16		K		
B 2 3 K 9/23 (2006.01)	B 2 3 K	9/167		A		
B 2 3 K 28/02 (2014.01)	B 2 3 K	9/173		A		
B 2 3 K 9/127 (2006.01)	B 2 3 K	9/23		H		
G 2 1 F 5/00 (2006.01)	B 2 3 K	28/02				
G 2 1 F 5/10 (2006.01)	B 2 3 K	9/127	5 0 3 C			
G 2 1 F 5/008 (2006.01)	G 2 1 F	5/00		K		
G 2 1 F 9/36 (2006.01)	G 2 1 F	5/00		P		
	G 2 1 F	5/00		F		
	G 2 1 F	9/36	5 0 1 J			
	G 2 1 F	9/36	5 0 1 G			
	G 2 1 F	9/36	5 0 1 F			

- (72)発明者 尾花 健
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- (72)発明者 鈴木 国彦
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立GEニュークリア・エナジー株式会社内
- (72)発明者 小出 宏夫
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立GEニュークリア・エナジー株式会社内
- (72)発明者 平沼 健
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立GEニュークリア・エナジー株式会社内
- (72)発明者 小林 一樹
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立GEニュークリア・エナジー株式会社内
- (72)発明者 金丸 周平
山梨県北杜市高根町下黒沢3054-3 大陽日酸株式会社内
- (72)発明者 佐々木 智章
山梨県北杜市高根町下黒沢3054-3 大陽日酸株式会社内

F ターム(参考) 4E001 AA03 BB07 BB08 CA01 CB02 DA05 DB01 DD02 DD03 DE01
DE02 EA01 EA02 EA03 EA05 EA06 EA08
4E081 AA05 AA08 BA02 BA08 BB03 CA08 CA11 DA12 DA72 EA23
EA24 EA55 FA17 YS01 YX03 YX07 YX12 YY02 YY07