

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6386330号
(P6386330)

(45) 発行日 平成30年9月5日(2018.9.5)

(24) 登録日 平成30年8月17日(2018.8.17)

(51) Int.Cl.			F I		
G 2 1 C	19/32	(2006.01)	G 2 1 C	19/32	W
B 2 3 K	31/00	(2006.01)	B 2 3 K	31/00	D
B 2 3 K	9/167	(2006.01)	B 2 3 K	9/167	A
B 2 3 K	9/173	(2006.01)	B 2 3 K	9/173	A
B 2 3 K	9/23	(2006.01)	B 2 3 K	9/23	J
請求項の数 13 (全 43 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2014-206404 (P2014-206404)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成26年10月7日 (2014.10.7)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2016-75586 (P2016-75586A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成28年5月12日 (2016.5.12)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成29年8月31日 (2017.8.31)		ポレール特許業務法人
		(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
		(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	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
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法

(57) 【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と、該内筒の外側に同軸状に配置される鋼製の外筒との間の周方向に略等間隔に傾斜配備される銅製の複数の伝熱銅フィンをそれぞれ溶接する本溶接工程の過程で発生する溶接不良部、又は溶接後の品質検査工程で検出される溶接不良部を、補修工程で補修溶接する金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法であって、

前記本溶接工程の過程で発生する溶接不良部、又は溶接後の品質検査工程で不合格と判定された溶接不良部を補修する際には、前記本溶接工程で使用したT I G－M I G溶接トーチ又はM I G溶接トーチと同一又は同種の溶接トーチ、同一成分の溶接ワイヤ及びシールドガスをそれぞれ使用すると共に、前記本溶接工程で施工した時の溶接方向と同一方向に前記T I G－M I G溶接トーチ又は前記M I G溶接トーチを走行させ、先行T I Gと後続M I Gとの複合溶接又はM I G溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工して補修ビードを形成し、

前記補修工程で溶接不良部を捕集する際には、前記本溶接工程で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は前記補修溶接条件よりもM I G電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を用い、前記本溶接工程で形成された溶接ビード部の銅側のビード止端部から前記伝熱銅フィンの表面側に所定距離だけシフトさせた位置の線上に、前記T I G－M I G溶接トーチ又はM I G溶接トーチを配置し、少なくとも前記溶接不良部の線上を通過す

るように前記T I G－M I G溶接トーチ又はM I G溶接トーチを走行させ、前記先行T I Gと後続M I Gとの複合溶接又はM I G溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工して補修ビードを形成するようにしたことを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【請求項2】

請求項1に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記T I G－M I G溶接トーチを用いて前記溶接不良部をT I G－M I G補修溶接する際に、T I G側の電極極性を負極とするT I Gアークを少なくとも前記溶接ビード部に発生させると共に、M I G側から給電及び送給するワイヤの極性を正極とするM I Gアークを前記T I Gアークの後方に発生させ、相互に反発し合う2つのアークで1つの溶融プールを形成させ、少なくとも前記溶接不良部の線上を通過するように前記T I G－M I G溶接トーチを先行T I G及び後続M I Gの方向に走行させ、前記T I Gアーク及びM I GアークによるT I G－M I G補修溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

10

【請求項3】

請求項1に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記T I G－M I G溶接トーチを用いて前記溶接不良部をT I G補修溶接する際に、T I G側の電極極性を負極とするT I Gアークを少なくとも前記溶接ビード部に発生させると共に、M I G側から給電無のコールドワイヤとした溶接ワイヤを、T I Gアーク中及び溶融プール内にT I G－M I G複合溶接又はT I G－M I G補修溶接で使用する溶接ワイヤの速度よりも遅い低速で送給し、少なくとも前記溶接不良部の線上を通過するように前記T I G－M I G溶接トーチを先行ワイヤ及び後続T I Gアークの方向に走行させ、前記先行ワイヤ及び後続T I GアークによるT I G補修溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

20

【請求項4】

請求項3に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記溶接不良部をT I G補修溶接する際に、前記本溶接工程で使用したT I G電流と同等以上のT I G電流を設定し、溶接速度を90～150mm／分の範囲に設定して入熱量を大きくすると共に、給電無の前記溶接ワイヤを、T I G－M I G複合溶接又はT I G－M I G補修溶接で使用する前記溶接ワイヤの速度よりも遅い低速で送給するように設定した他の補修溶接条件を用いることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

30

【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか1項に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記溶接不良部は、前記本溶接工程の過程で発生するか若しくは溶接後の品質検査工程で検出されるアンダーカット過大、のど厚不足又はビード高さ不足であることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

40

【請求項6】

請求項5に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記アンダーカット過大の不良判定は、前記アンダーカットの深さRが前記伝熱銅フィンの板厚T1の1／10より大きい($R > 0.1 \times T1$)時であり、また、前記のど厚不足又はビード高さ不足の不良判定は、補修前の前記のど厚L1又はビード高さH1の大きさが前記伝熱銅フィンの板厚T1より小さい($L1 < T1$ 、 $H1 < T1$)時であり、これらの溶接不良部が無くなるように前記補修溶接を施工することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【請求項7】

50

請求項1乃至6のいずれか1項に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記溶接不良部の補修溶接に使用する溶接ワイヤ及びシールドガスは、前記本溶接工程で使用した溶接ワイヤと同一成分のシリコン入りのCuSiワイヤであると共に、同一成分のArガスとHeガスとの混合ガスであり、かつ、前記溶接トーチの先端開口部から前記混合ガスを放出させ、前記CuSiワイヤを前記溶接ビード部の上から肉盛するように前記補修溶接を施工して前記補修ビードを形成することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【請求項8】

請求項1に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

10

前記TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを溶接ビード部の銅側のビード止端部から伝熱銅フィン表面側にシフトさせる所定距離S2は、0mm以上3mm以下($0 \leq S2 \leq 3$)であることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【請求項9】

請求項8に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記補修溶接によって形成された補修ビード及び補修断面部には、少なくともアンダーカット過大、のど厚不足又はビード高さ不足等の溶接不良部が消滅しており、かつ、補修前の溶接部を含む補修溶接部のビード積層高さH2が補修後ののど厚L2より大きく、前記補修後ののど厚L2も伝熱銅フィンの板厚T1より大きく($H2 > L2 > T1$)形成されていることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

20

【請求項10】

請求項9に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記溶接不良部を補修溶接する補修工程は、前記内筒側の品質検査工程又は前記外筒側の品質検査工程若しくは両方の品質検査工程の次工程に設けられると共に、前記品質検査工程は、所定枚数(N枚)の前記伝熱銅フィンの端面部又は他方の前記伝熱銅フィンの端面部を順番に繰り返し溶接する溶接工程の終了後の次工程に、又は少数単位に分割した前記伝熱銅フィンの片方端面部又は前記伝熱銅フィンの他方端面部を少数単位で溶接して検査する溶接・検査繰り返し工程の中に、若しくは両方の工程に設けられており、かつ、前記補修工程では、前記品質検査工程で不良判定された前記溶接不良部を無くすように前記補修溶接を施工することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

30

【請求項11】

請求項1に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記補修工程前の本溶接工程で前記伝熱銅フィンの端面部と継手部の溶接線を本溶接する際に、前記補修工程で使用予定の溶接トーチと同一又は同種のTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチ、同一成分のシリコン入りのCuSiワイヤ及びArガスとHeガスとの混合ガスをそれぞれ使用し、前記伝熱銅フィンの端面角部から前記伝熱銅フィンの表面側に所定距離だけシフトさせた位置の溶接線上の溶接開始位置に前記TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを配置すると共に、前記溶接開始位置から終了位置までの溶接線上を通過するように走行させ、前記TIG-MIG溶接トーチによる先行TIGと後続MIGとの複合溶接又は前記MIG溶接トーチによるMIG溶接によって、前記継手部の前記溶接開始位置から終了位置までの溶接線に溶接施工することを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

40

【請求項12】

請求項11に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

前記TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを前記伝熱銅フィンの端面角部から前記伝熱銅フィンの表面側にシフトさせる所定距離S1は、0mm以上4mm以下($0 \leq S1 \leq 4\text{mm}$)であることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【請求項13】

請求項11に記載の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法において、

50

前記溶接施工によって形成された前記溶接ビード及び溶接断面部には、前記のど厚 L_1 及びビード高さ H_1 が、前記伝熱銅フィンの板厚 T_1 以上 ($L_1 \geq T_1$ 、 $H_1 \geq T_1$) の大きさに形成され、かつ、前記アンダーカット深さ R が前記板厚 T_1 の $1/10$ 以下 ($R \leq (0.1 \times T_1)$) であることを特徴とする金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法に係り、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するものに好適な金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法に関する。

10

【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。

【0003】

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。

20

【0004】

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が配備されており、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。

【0005】

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、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。

30

【0006】

上述した金属キャスクの内筒の外面及び外筒の内面に伝熱フィンを溶接する技術が、例えば、特許文献1乃至5に開示されている。また、金属キャスクではないが、車両構造体の摩擦攪拌接合部の欠陥部を補修する方法や、原子炉圧力容器のクラッド部と内部構造物との溶接部付近に発生した欠陥部を補修溶接する方法、亀裂に追従させながらアーク溶接で補修溶接する方法が特許文献6乃至8に開示されている。

【0007】

特許文献1には金属製容器の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、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プラズマ溶接工程とを並行して行い、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 $15 \sim 20$ 度とし、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、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。

40

【0008】

また、特許文献2には複合溶接方法及び複合溶接用の溶接トーチについて記載され、先行側でTIGアークを発生させ、後行側でMIGアークを発生させて溶接するものであり、TIG電流をMIG電流よりも大きく設定し、TIG電極とMIG電極とに継続してアークを発生させると共に、両アーク間の距離を 20 mm 以下にすることが開示されている。更に、シールドガスとして、ArガスとH₂ガスとの混合ガスや、ArガスとHeガス

50

との混合ガス及び $Ar + H_2 + He$ との混合ガスを使用することが開示されている。

【0009】

また、特許文献3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、クラッド材の一方の金属は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、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。

【0010】

また、特許文献4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鋼製の母材とをMIGトーチ等の溶接手段によって溶接する溶接工程と、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、溶接工程で生じた溶接ビード上を加熱(溶融も含む)して、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、溶接工程の前に、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、或いは高周波コイル等の加熱手段によって、溶接工程の前に、熱伝導率の高い鋼製の母材を予熱することが開示されている。

【0011】

また、特許文献5には放射性物質収納容器について記載され、鋼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、容器本体外周面及び外筒内周面と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。

【0012】

また、特許文献6には摩擦攪拌接合部の補修方法について記載され、摩擦攪拌接合によって形成した接合ビードに含まれる欠陥を研削除去して補修領域を形成する工程と、継手部材の母材(アルミ合金)と同材料の溶接棒を用いるTIG溶接によって補修ビードを形成する工程とを備えることが開示されている。

【0013】

一方、特許文献7には原子炉圧力容器の補修方法について記載され、溶接部とクラッド部を含む欠陥部を機械的に切取って除去した後に、クラッドの残存厚さが3.2mm未満の時には、テンパービード工法による肉盛溶接にて除去部を補修し、クラッドの残存厚さが3.2mm以上の時には、通常的肉盛溶接にて除去部を補修することが開示されている。

【0014】

また、特許文献8には亀裂補修方法について記載され、横向き姿勢で亀裂補修溶接を実施する時に、構造部材の亀裂部を撮像する監視カメラと、溶接ヘッドを駆動制御すると共に、亀裂部に追従させる溶接制御手段を備えた亀裂補修溶接装置を用いて、ワイヤ供給ノズルから金属酸化物を含むフラックス入りワイヤを溶接進行方向と直交する方向の溶融池上方から挿入し、亀裂を除去することなく亀裂に追従させながらアーク溶接(TIG溶接)で補修溶接することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特開2009-178727号公報

【特許文献2】特開2013-158826号公報

【特許文献3】特開2007-205931号公報

【特許文献4】特開2002-361469号公報

【特許文献5】特開2008-82906号公報

【特許文献6】特開2002-59289号公報

【特許文献7】特開2000-275384号公報

10

20

30

40

50

【特許文献8】特開2005-21953号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

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ワイヤを用いて銅と鋼継手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。また、特許文献1には、SiCuワイヤを使用することや、溶接欠陥(又は溶接不良)の発生及びその溶接不良部を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

10

【0017】

また、特許文献2では、TIG電流をMIG電流よりも大きく、かつ、両アーク間の距離を20mm以下に設定して溶接することで、アークの硬直性及び安定性が向上すると考えられるが、両アーク間距離が長いと、離れ合う両アークで形成される溶融プールが細長く不安定な形状となり、不均一なビード形状(蛇行ビード)になり易い。また、HeガスやH₂ガスとArガスとの混合ガスを使用することが記載されているが、検証試験では、Arガスのみ使用の溶接結果が記載されている。また、検証試験には、ステンレス鋼の母材を用いた溶接結果が記載されている。この溶接に使用された溶接ワイヤの材質は記載されていないが、母材と同系のステンレス系の溶接ワイヤであろうと推定される。このため、特許文献2には、特許文献1の場合と同様に、SiCuワイヤを使用することや銅と鋼との異材継手や隅肉継手を溶接すること、或いはアンダーカットやのど厚不足等の溶接不良部(溶接欠陥部)を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

20

【0018】

また、特許文献3では、銅クラッド鋼材の銅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、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。また、特許文献3には、特許文献1及び2の場合と同様に、SiCuワイヤを使用することや銅材と鋼材との異材継手を溶接すること、或いはアンダーカットやのど厚不足等の溶接不良部を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

30

【0019】

また、特許文献4では、溶接手段の他に、この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、装置の大型化、溶接対象物との干渉による溶接不可の部位発生、高周波コイルの電磁力の影響によるアーク挙動の不安定化、レーザ照射の反射の影響による加熱不足等の問題が予想される。また、特許文献4では、第1の溶接手段のMIG溶接トーチによって、Niの溶接ワイヤを用いて伝熱フィンと本体胴とを溶接し、第2の溶接手段のMIG溶接トーチによって、溶接ビードと伝熱フィンとを溶接するようにしており、同種の溶接トーチ、同種の溶接ワイヤは使用されていない。また、SiCuワイヤを使用することや、アンダーカットやのど厚不足等の溶接不良部を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

40

【0020】

50

また、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平行部を密着させて重ね隅肉継手部を形成し、この重ね隅肉継手部をM I G溶接又はM I G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。また、特許文献5には、アンダーカットやのど厚不足の溶接不良部(溶接欠陥部)を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

【0021】

一方、特許文献6では、銅材や銅材と異なるアルミ合金を母材とする継手部材の摩擦攪拌接合であり、アーク溶接(熔融接合)と異なる固相接合法であることから、銅と銅との異材継手に適用することはできない。また、接合ビードに含まれる割れやピット等の欠陥部をグラインダ加工等で切削除去して補修領域を形成しており、事前に切削加工する作業が必要となる。また、母材(アルミ合金)と同材料の溶接棒を用いたT I G溶接によって補修ビードを形成しており、M I G溶接の適用は美観上の問題から避けている。また、特許文献6には、S i C uワイヤを用いて本溶接することや、同一のS i C uワイヤを用いて、アンダーカットやのど厚不足の溶接不良部(溶接欠陥部)を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

【0022】

また、特許文献7では、溶接部とクラッド部を含む欠陥部(亀裂や欠損等の原子炉特有の欠陥)を機械的に切取って除去しており、事前に切削加工する作業が必要となる。また、欠陥部を除去した後に、クラッド部の残存高さの違いに応じて、テンパービード工法による肉盛溶接にするか、通常の肉盛溶接にするかを使い分けして除去部を補修するようにしている。肉盛溶接(補修溶接)にはT I G溶接が採用され、かつ、多層多パスの補修溶接が必要になるため、多くの時間と手間及び費用が掛かるという問題がある。補修溶接に使用される溶接ワイヤの材質は記載されていないが、クラッドの材質がN i基合金であることから、これと同種のN i基合金系の溶接ワイヤであろうと推定される。このため、C u S iワイヤ等の銅系ワイヤを使用して、クラッド部の欠陥部を補修溶接することは不可能である。また、特許文献7には、特許文献6の場合と同様に、S i C uワイヤを使用することや銅と銅との異材継手部や隅肉継手部を溶接すること、或いはアンダーカットやのど厚不足等の溶接不良部を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

【0023】

また、特許文献8では、割れ等の亀裂部を撮像する監視カメラと、その亀裂部に追従させる溶接制御手段及び補修する溶接ヘッドとによって、亀裂部を補修溶接することができる。しかしながら、補修すべき構造部材が原子炉等の放射線環境下で使用される機器であること、補修姿勢が横向き姿勢であること、溶込み深さ促進性の金属酸化物を含むフラックスワイヤを溶接方向と直交する方向の熔融池上方から挿入して補修溶接を施工するようにしていることから、特殊な構造部材で平面的な部材面の亀裂補修への適用に限定されるものと考えられる。また、溶込み深さ促進性の金属酸化物を含むフラックスワイヤを使用するため、銅と銅との異材継手部の本溶接やその欠陥部の補修溶接には適用することができない。また、特許文献8には、特許文献6及び7の場合と同様に、S i C uワイヤを使用することや、割れ及び亀裂と異なるアンダーカットやのど厚不足の溶接不良部(溶接欠陥部)を補修溶接することについては、対象外で適用されておらず、全く記載も示唆もされていない。

【0024】

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、溶接不良部の補修溶接性に優れ、独自の補修施工によってアンダーカット過大やのど厚不足等の溶接不良部を確実に消滅させ、品質良好な補修溶接ビード及び補修断面部を得ることができる金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0025】

本発明の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法は、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と、該内筒の外側に同軸状に配置される鋼製の外筒との間の周方向に略等間隔に傾斜配備される鋼製の複数の伝熱銅フィンをそれぞれ溶接する本溶接工程の過程で発生する溶接不良部、又は溶接後の品質検査工程で検出される溶接不良部を、補修工程で補修溶接する金属キャスク溶接構造物の溶接不良部補修方法であって、前記本溶接工程の過程で発生する溶接不良部、又は溶接後の品質検査工程で不合格と判定された溶接不良部を補修する際には、前記本溶接工程で使用したTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチと同一又は同種の溶接トーチ、同一成分の溶接ワイヤ及びシールドガスをそれぞれ使用すると共に、前記本溶接工程で施工した時の溶接方向と同一方向に前記TIG-MIG溶接トーチ又は前記MIG溶接トーチを走行させ、先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工して補修ビードを形成し、前記補修工程で溶接不良部を捕集する際には、前記本溶接工程で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は前記補修溶接条件よりもMIG電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を用い、前記本溶接工程で形成された溶接ビード部の銅側のビード止端部から前記伝熱銅フィンの表面側に所定距離だけシフトさせた位置の線上に、前記TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを配置し、少なくとも前記溶接不良部の線上を通過するように前記TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを走行させ、前記先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接によって、前記溶接不良部を有する溶接ビード部の上から肉盛するように、少なくとも前記溶接不良部に補修溶接を施工して補修ビードを形成するようにしたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、溶接不良部の補修溶接性に優れ、独自の補修施工によってアンダーカット過大やのど厚不足等の溶接不良部を確実に消滅させ、品質良好な補修溶接ビード及び補修断面部を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属キャ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に係わる金属キャ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に係わる金属キャスク用伝熱銅フィンの溶接方法の他の手順概要を示すフローチャートである。

【図5】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属キャ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。

【図6】図5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7】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属キャスクにおける内筒側の検査工程での合否判定及び補修溶接工程を溶接不良部を補修した補修溶接部の形状と共に示すフローチャートである。

【図8】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属キャスクにおける外筒内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。

【図9】図8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10】本発明の実施例1に係わる伝熱銅フィン付き金属キャスクにおける外筒側の検査工程での合否判定及び補修溶接工程を溶接不良部を補修した補修溶接部の形状と共に示

すフローチャートである。

【図 1 1】本発明の実施例 1 に係わる一体構造の T I G－M I G 溶接トーチの概略構成及びトーチ配置を示す図である。

【図 1 2】図 1 1 の状態から T I G アークと M I G アークで溶融プールを形成した状態を示す図である。

【図 1 3】本発明の実施例 2 に係わる M I G 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 1 4】本発明の実施例 3 に係わる T I G－M I G 溶接トーチの概略構成及び溶接ビード部の上から肉盛するように T I G－M I G 補修溶接するトーチ配置の一実施例を示す図である。

10

【図 1 5】本発明の実施例 4 に係わる T I G－M I G 溶接トーチの概略構成及び溶接ビード部の上から肉盛するように T I G 補修溶接するトーチ配置の一実施例を示す図である。

【図 1 6】本発明の実施例 5 に係わる M I G 溶接トーチの概略構成及び溶接ビード部の上から肉盛するように M I G 補修溶接するトーチ配置の一実施例を示す斜視図である。

【図 1 7】本発明の実施例 6 に係わる補修試験方法及び溶接ビード部の上から肉盛するように補修溶接するトーチ配置の一実施例を示す斜視図である。

【図 1 8】本発明の実施例 6 に係わる溶接模擬欠陥部の T I G 補修試験片の一実施例を示す斜視図である。

【図 1 9】本発明の実施例 6 に係わる溶接模擬欠陥部の T I G－M I G 補修試験片の一実施例を示す斜視図である。

20

【図 2 0】本発明の実施例 6 に係わる溶接(補修)速度及びワイヤ送り速度を変化させた時のワイヤ溶着断面積を示す特性図である。

【図 2 1】本発明の実施例 6 に係わる T I G－M I G 複合溶接した後の本溶接ビードの上から T I G 補修溶接した時の代表的な補修ビード及び補修有無部の溶接断面の試験結果の写真を示す図である。

【図 2 2】本発明の実施例 6 に係わる T I G－M I G 複合溶接した後の本溶接ビードの上から T I G 補修溶接又は T I G－M I G 補修溶接した時のトーチ位置のシフト量と補修前後ののど厚の関係を示す特性図である。

【図 2 3】本発明の実施例 6 に係わる T I G－M I G 複合溶接した後の本溶接ビードの上から T I G 補修溶接又は T I G－M I G 補修溶接した時のトーチ位置のシフト量と補修前後のビード積層高さの関係を示す特性図である。

30

【図 2 4】本発明の実施例 6 に係わる T I G－M I G 複合溶接した後の本溶接ビードの上から T I G－M I G 補修溶接した時の代表的な補修ビード及び補修有無部の溶接断面の試験結果の写真を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 9】

以下、図示した実施例に基づいて本発明の金属キャスク溶接構造物の溶接不良部の補修方法について説明する。

【実施例 1】

【0 0 3 0】

40

図 1 に、本実施例に係わる金属キャスク溶接構造物の構造を、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。

【0 0 3 1】

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(金属キャ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 及びこれらで形成する容器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)。内筒 1 の外面と外筒 2 の内面の間には、円周方向に略等間隔に、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。

50

【0032】

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。

【0033】

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(溶接ビード及びその溶接断面部)10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。

10

【0034】

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 $\theta 1$ は、内筒1の外表面又は外筒2の内表面若しくは内筒1及び外筒2の両面に対して、 $\theta 1 = 120 \text{度} \pm 15 \text{度}$ ($105 \leq \theta 1 \leq 135 \text{度}$)の範囲の広角に傾斜して形成されている。

【0035】

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。

20

【0036】

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。

【0037】

図3は、本実施例に係わる金属キャスク溶接構造物の溶接手順概要の一実施例を示すフローチャートであり、図4は、他の金属キャスク溶接構造物の溶接手順概要の一実施例を示すフローチャートである。

30

【0038】

図3及び図4に示したフローチャートの主な相違点は、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103及び各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の溶接工程110の施工内容を、内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105及び外筒2側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程112と、内筒1側の少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程106及び外筒2側の少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程113とに区分けしたことである。

【0039】

例えば、図3に示すように、伝熱銅フィン3の溶接手順(その1)99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箇所形成、又はN箇所形成すると共に仮付(例えば、仮付溶接)して仮組した後に、そのN箇所の隅肉継手部5-1、5-2・・・5-Nに繰り返し溶接する各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103及び内筒1側のN箇所の溶接の繰り返し溶接工程105と、その後に行う内筒1側の溶接品質の検査工程107の終了後で、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箇所形成、又はN箇所形成すると共に仮付溶接して仮組した後に、そのN箇所の隅肉継手部8-1、8-2・・・8-Nに繰り返し溶接する各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110及びN箇所の溶接の繰り返し溶接工程112と、を備えている。

40

50

【0040】

そして、隅肉継手部8をN箇所形成すると共に仮付溶接して仮組した後に、その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)することで、各隅肉継手部の仮組作業と溶接作業とをそれぞれ効率良く行うことができる。

【0041】

一方、図4に示すように、伝熱銅フィン3の溶接手順(その2)100においては、溶接前にワイヤ溶着断面積Awを決定するワイヤ溶着断面積決定工程102の後に行う各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103では、内筒1側の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N箇所の溶接の繰り返し溶接工程105と、1～5箇所程度に分割した隅肉継手部に溶接すると共に、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少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程106とに分けている。

10

【0042】

例えば、少数単位に分割して溶接及び検査を繰り返す少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程106では、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をN箇所形成、又はN箇所形成すると共に仮付溶接して仮組した後に、その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5-1～5-5に1パスずつ溶接すると共に、その溶接部を検査するように、隅肉継手部の溶接と検査とを繰り返すようにしている。

20

【0043】

一方、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110では、内筒1側の場合と同様に、外筒2側の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箇所程度に分割した隅肉継手部に1パスずつ溶接すると共に、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少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程113とに分けている。

【0044】

例えば、外筒2側でも溶接と検査を繰り返す少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程113には、内筒2側の場合と同様であり、外筒2側に形成したN箇所の隅肉継手部8-1、8-2・・・8-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8-1～8-5に1パスずつ溶接すると共に、その溶接部を検査するように、隅肉継手部の溶接と検査とを繰り返すようにしている。

30

【0045】

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。

【0046】

一方、内筒1側及び外筒2側の検査工程107及び114は、上述したように、本溶接した各溶接部の品質を検査する工程である。この内筒1側及び外筒2側の検査工程107及び114は、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒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、又は各隅肉継手の仮組工程を含む内筒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、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒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の終了後の必要箇所に設けられている。更に、内筒1側及び外筒2側の検査工程107及び114では、各溶接部の品質を各々検査すると共に、その検査で不合格となった溶接部分及びその近傍部を補修する補修溶接工程109、116を備えている。

40

【0047】

また、溶接と検査との両作業を繰り返し行う場合の内筒1側の検査工程117及び外筒2側の検査工程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L1やビード高さH1や溶込み深

50

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。

【0048】

この溶接品質の検査を行う内筒1側の検査工程117及び外筒2側の検査工程120で不合格となった場合には、不合格の溶接部分及びその近傍部を補修溶接工程119及び122で補修するようにしている。

【0049】

これらの補修溶接工程109、116、119及び122では、例えば、隅肉継手部を本溶接した時の溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は補修溶接条件よりもMIG電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を使用して、1パス肉盛して補修溶接することで、欠陥部(溶接不良部)を容易に消滅できるように肉盛補修することができる。

10

【0050】

なお、溶接不良部の補修方法については、別の実施例(図7、図10、図14～16)を用いて後述する。

【0051】

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_1 が伝熱銅フィン3の板厚 T_1 以上($L_1 \geq T_1$)になるように、ワイヤ送り速度 W_f 又は該ワイヤ送り速度 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。

【0052】

なお、内側溶接部7(又は外側溶接部10)ののど厚 L_1 とは、図3及び図4のワイヤ溶着断面積 A_w の決定工程102中に示すように、伝熱銅フィン3側の熔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 A_w の決定工程102の箇所に図示した隅肉継手部5の内側溶接部7は、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他方の外側溶接部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。

20

【0053】

次に、図3及び図4に示す各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103では、本溶接前に所定枚数(N 枚)の伝熱銅フィン3を内筒1側に仮付溶接して仮組するようにしている。例えば、図5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、又は各々形成すると共に、仮付(例えば、仮付溶接)して仮組する。

30

【0054】

図5中の右側に示すように、隅肉継手部5-1、5-2・・・5- N を形成及び仮組する場合には、例えば、TIG溶接等の溶接法によって仮付溶接し、所定長さ X_1 の仮付部(k_1 、 k_2 ・・・ k_p)を所定間隔 X_2 毎に形成して、隅肉継手部を仮組すると良い。仮付溶接すべき仮付長さ X_1 は、15mm以上50mm以下($15 \leq X_1 \leq 50$ mm)の範囲であり、仮付間の距離間隔 X_2 は、200mm以上600mm以下($200 \leq X_2 \leq 600$ mm)の範囲にすると良い。

40

【0055】

また、仮付個数 n については、本溶接すべき溶接線長さ X_w によって変化するが、例えば、溶接線長さ X_w を仮付間の距離間隔 X_2 で略均等分割した数に開始側又は終了側の1つを加えた合計数にすれば、(溶接線長さ X_w /距離間隔 X_2)+1となり、仮付個数 n を容易に決定することができる。また、各仮付位置についても、溶接線の開始位置と、その開始位置から前記距離間隔 X_2 毎の各位置と溶接線の終了位置とに決定すれば良い。また、仮付溶接すべき継手母材の溶接線(6-1、6-2・・・6- N)は、本溶接の場合と同程度であり、伝熱銅フィン3の端面角部から伝熱銅フィン表面側に溶接トーチをシフトさせる距離 S_3 (第2の距離)は、1mm以上3mm以下($1 \leq S_3 \leq 3$ mm)の範囲にすると良い。

50

【0056】

なお、仮付長さ $X1$ が 15 mm より短過ぎると、仮付長さ不足に伴う強度不足になり易く、反対に、 50 mm より長過ぎると、本溶接の施工時に仮付部を再溶融させて本溶接ビードを形成させるのに支障が生じ易い。また、仮付間の距離間隔 $X2$ が 200 mm より短過ぎると、仮付個数の増加及び仮付作業の時間増加に至り、反対に、 600 mm より長過ぎると、仮付個数不足に伴う強度不足になり易く、また、本溶接の施工時に反り変形が生じ易いので好ましくない。また、溶接トーチをシフトさせるシフト距離 $S3$ が 1 mm より短過ぎると、仮付溶接中のアーク及び溶融プールが銅側(内筒1側)に片寄り易くなることから、反対側の伝熱銅フィン3側の溶融不足やアンダーカット発生に伴う強度不足になり易い。一方、シフト距離 $S3$ が 3 mm より長過ぎると、仮付溶接中のアーク及び溶融プールが伝熱銅フィン3側に片寄り易くなることから、反対側の内筒1側の溶融不足や不正ビードになり易いので好ましくない。

10

【0057】

このようにして決定した仮付位置に所定長さ($X1$)ずつ、所定間隔($X2$)毎にTIG仮付溶接を行うことで、内筒1側の場合でも、所定長さずつの仮付部を容易に n 個形成($k1$ 、 $k2 \cdots kn$)することができ、また、本溶接すべき溶接線の曲がりや反り変形が小さい隅肉継手部を容易に仮組製作することができる。また、本仮付方法による仮付によって金属キャスク溶接構造物の溶接組立及び製造を継続することもできる。

【0058】

また、各隅肉継手部 $5-1$ 、 $5-2 \cdots 5-N$ の所定位置に n 個の仮付部を形成するためのTIG仮付溶接では、この仮付溶接後の本溶接で使用する溶接ワイヤ及びシールドガスと同一成分のSiCuワイヤ及びArガスとHeガスとの混合ガスを使用すると良い。

20

【0059】

また、仮付溶接すべき隅肉継手部 $5-1$ の溶接線 $6-1$ 上を通過するように溶接トーチを配置し、溶接トーチの先端開口部から仮付すべき隅肉継手部 $5-1$ 及びその近傍表面部に向かって混合ガスを流出させて仮付開始位置にTIGアークを発生させ、給電無のSiCuワイヤをTIGアーク中及び溶融プール内に低速送給し、先行ワイヤ後続TIGアークの方向に溶接トーチを走行移動させ、隅肉継手部に所定長さのTIG仮付溶接を施工して仮付ビードを形成することで、所定の仮付長さ $X1$ の仮付ビード($k1$ 、 $k2 \cdots kn$)を良好に得ることができる。

30

【0060】

また、SiCuワイヤを用いてTIG仮付溶接することで、銅と銅との異材溶接であっても、銅と銅及び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仮付ビード及び仮付溶接断面部を得ることができる。更に、複数の仮付部を有する隅肉継手部の本溶接を行うことが可能となる。

【0061】

なお、図5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配備されている。

40

【0062】

図6は、図5に示した内筒側の隅肉継手部に本溶接した溶接部の形状を示す部分斜視図である。

【0063】

本実施例の内筒1側の本溶接では、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 $5-1$ 、 $5-2 \cdots 5-N$ を形成すると共に仮付して仮組した後に、TIG-MIG溶接トーチによる本溶接の先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接トーチによる本溶接のMIG溶接によって、1パスずつ順番に溶接施工して溶接ビード及び溶接断面部 $7-1$ 、 $7-2 \cdots 7-N$ を形成するようにしている。

50

【0064】

このように、仮組(仮付溶接)後の各隅肉継手部5-1、5-2・・・5-Nの溶接線上から本溶接を1パスずつ順番に溶接施工することで、十分な大きさを有するのど厚L1とビード高さH1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7-1、7-2・・・7-Nを得ることができる。

【0065】

また、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103(本溶接工程)は、上述したように、仮組及び溶接すべき内筒1側の各隅肉継手を仮付溶接して仮組した後に本溶接する工程である。

【0066】

図3～図6に示したように、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103では、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、又はN箇所形成すると共に仮付溶接して仮組し、その後に、仮付有継手部に本溶接を施工するようにしている。仮組後の内筒1側の本溶接では、例えば、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、又はN箇所形成すると共に仮付溶接して仮組した後に、その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。

【0067】

内筒1側のN箇所の溶接(本溶接)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の下位表面に点線で示す溶接線6-1、6-2・・・6-N)に対して、シリコン入りのCuSiワイヤを用い、TIG-MIG溶接トーチによる本溶接の先行TIGと後続MIGとの複合溶接、又はMIG溶接トーチによる本溶接のMIG溶接によって、1パスずつ順番に溶接施工する。

【0068】

このため、内筒1側のN箇所の溶接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、仮付溶接の場合と同様に、本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、端面角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、0mm以上4mm以下($0 \leq S1 \leq 4\text{mm}$)の範囲で設定すると良い。

【0069】

また、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、7-2を形成するようにすると良い。

【0070】

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側にシフトさせて本溶接することで、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cが抑制されるので、十分な大きさを有するのど厚L1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7-1、7-2を得ることができる。

【0071】

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

10

20

30

40

50

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 パス溶接すると良い。

【0072】

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枚)の隅肉継手部の各溶接線 6-1、6-2・・・6-Nに、図 6 に示すように、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。

【0073】

なお、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接又は MIG 溶接については、別の実施例(図 11～14)を用いて後述する。

【0074】

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 を形成するようにすると良い。溶接後には内筒 1 側の検査工程 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、不合格の溶接部分及びその近傍部を補修溶接工程 119 で補修するようにしている。

【0075】

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、銅と銅との異材溶接であっても、銅と銅及び 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。

【0076】

例えば、Si 及び Mn は、Cu や Fe に対して溶け合う共晶型 II に属する物質であり、このため、該 Si 及び Mn 入りの CuSi ワイヤを用いて溶接施工することで、上述したように、銅と銅及び Si 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部が得られるものと推定される。

【0077】

一方、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、銅と銅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。

【0078】

そして、本実施例では、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のど厚 L1 が、伝熱銅フィン 3 の板厚 T1 以上($L1 \geq T1$)に形成され、かつ、内筒 1 側の溶込み深さ c が、0.05 mm 以上 6 mm 以下($0.05 \leq c \leq 6 \text{ mm}$)に形成されている。好ましくは、溶込み深さ c を 0.05 mm 以上 4 mm 以下($0.05 \leq c \leq 4 \text{ mm}$)に形成する良い。

【0079】

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/mm² 以上の強度を確実に得ることができる。

【0080】

上述したのど厚 L1 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、溶接部ののど厚

10

20

30

40

50

L1を伝熱銅フィン3の板厚T1以上($L1 \geq T1$)、ビード高さH1をT1以上($H1 \geq T1$)に形成している。

【0081】

また、伝熱銅フィン3側のビード止端部に発生することがあるアンダーカット深さRを($0.1 \times T1$)以下に抑制している。更に、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。

【0082】

そのため、上述したように、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。好ましくは溶込み深さcを0.05mm以上4mm以下($0.05 \leq c \leq 4\text{mm}$)に形成すると良い。

【0083】

一方、各伝熱銅フィン3を、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103(本溶接工程)で溶接する過程で発生することがあるアンダーカット過大や、のど厚不足又はビード高さ不足等の溶接不良部、又は溶接後の品質検査工程107、117で検出されることがあるアンダーカット過大、のど厚不足又はビード高さ不足等の溶接不良部は、補修溶接(肉盛補修)する必要がある。

【0084】

図7は、本発明の実施例1に係わる金属キャスク溶接構造物における内筒側の検査工程での合否判定、及び補修溶接工程で溶接不良部を補修した補修溶接部の形状を示す部分斜視図である。

【0085】

本実施例の内筒側の検査工程107、117では、溶接品質の合否判定を行うため、例えば、のど厚L1が $L1 < T1$ 、又はビード高さH1が $H1 < T1$ 、又はアンダーカット深さRが $R > (0.1 \times T1)$ の時には、不合格(溶接不良)と判定し、また、 $L1 \geq T1$ 、又は $H1 \geq T1$ 、又は $R \leq (0.1 \times T1)$ の時には、合格(溶接良好)と判定するようにしている。不合格判定の溶接不良部及びその近傍部は、補修溶接工程109、119で補修溶接を実施する。

【0086】

例えば、不合格判定の溶接不良部を補修する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103(本溶接工程)で使用したTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチと同一又は同種の溶接トーチ、同一成分の溶接ワイヤ及びシールドガスをそれぞれ使用すると共に、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103で施工した時の溶接方向と同一方向にTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを走行させ、先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード部7-1、7-2の上から肉盛するように、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させ、かつ、良好な補修溶接ビード(補修ビード)70-1を形成するようにしている。

【0087】

また、補修溶接工程109、119で溶接不良部を補修する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は補修溶接条件よりもMIG電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を使用し、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103で形成された溶接ビード部7-1、7-2の銅側のビード止端部から伝熱銅フィン3の表面側に所定距離だけシフトさせた位置の線上に、TIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを配置すると良い。

【0088】

そして、溶接不良部及びその近傍部の線上を通過するようにTIG-MIG溶接トーチ又はMIG溶接トーチを走行させ、先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接

10

20

30

40

50

によって、溶接不良部を有する溶接ビード部 7-1、7-2 の上から肉盛するように、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード 70-1 を形成するようにしている。

【0089】

このように補修溶接することで、のど厚不足又はビード高さ不足及びアンダーカット深さ過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な溶接ビード（補修断面部）70-1、70-2 を得ることができる。また、本補修方法による補修によって、金属キャスク溶接構造物の製造を継続することもできる。

【0090】

補修終了後に行う補修溶接部の品質検査 1071、1171 で、補修後ののど厚 $L2 \geq T1$ 、ビード積層高さ $H2 \geq T1$ 、アンダーカット深さ $R \leq (0.1 \times T1)$ に回復すると合格判定となり、次工程の各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 に進むようにしている。

【0091】

このように、溶接不良が発生した場合でも、独自の補修溶接の施工によって、のど厚不足やビード高さ不足及びアンダーカット深さ過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード（補修断面部）70-1、70-2 を得ると共に、除熱性能向上に寄与する大きな溶接のど厚及び熱伝導断面積を確保することができる。

【0092】

次に、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110（本溶接工程）は、仮組及び溶接すべき外筒 2 側の各隅肉継手を仮付溶接して仮組した後に本溶接する工程である。

【0093】

図 3 及び図 4 に示しように、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 では、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒 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、117 の終了後に、外筒 2 側の各隅肉継手を仮組（仮付溶接）し、その後に、仮付有継手部に本溶接を施工するようにしている。

【0094】

例えば、外筒 2 側の仮組では、図 8 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)の伝熱銅フィン 3 の他方の各端面を突き合せて、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、又は前記各々形成すると共に仮付溶接して仮組する。

【0095】

図 8 中の右側に示すように、隅肉継手部 8-1、8-2・・・8-N を形成及び仮組する場合には、例えば、TIG 溶接等の溶接法によって仮付溶接し、所定長さ $X1$ の仮付部 ($k1, k2 \dots kp$) を所定間隔 $X2$ 毎に形成して隅肉継手部を仮組すると良い。

【0096】

上述した内筒 1 側の場合と同様に、外筒 2 側の場合でも、仮付溶接すべき仮付長さ $X1$ は、15mm 以上 50mm 以下 ($15 \leq X1 \leq 50 \text{ mm}$) の範囲であり、仮付間の距離間隔 $X2$ は、200mm 以上 600mm 以下 ($200 \leq X2 \leq 600 \text{ mm}$) の範囲であると良い。また、仮付個数 n については、本溶接すべき溶接線長さ Xw によって変化するが、例えば、溶接線長さ Xw を仮付間の距離間隔 $X2$ で略均等分割した数に開始側又は終了側の 1 つを加えた合計数にすれば、(溶接線長さ Xw / 距離間隔 $X2$) + 1 となり、仮付個数 n を容易に決定することができる。また、各仮付位置についても、溶接線の開始位置と、その開始位置から距離間隔 $X2$ 毎の各位置と溶接線の終了位置とに決定すれば良い。

【0097】

このようにして決定した仮付位置に TIG 仮付溶接を所定長さ ($X1$) ずつ、所定間隔 ($X2$) 毎に行うことで、内筒 1 側の場合と同様に、外筒 2 側の場合でも、所定長さずつの

10

20

30

40

50

仮付部を容易に n 個形成することができ、また、本溶接すべき溶接線の曲がりや反り変形が小さい隅肉継手部を容易に仮組製作することができる。また、上述したように、本仮付方法による仮付によって、金属キャスク溶接構造物の溶接組立及び製造を継続することもできる。

【0098】

なお、各隅肉継手部 $5-1$ 、 $5-2 \cdots 5-N$ の所定位置に n 個の仮付部を形成するためのTIG仮付溶接では、この仮付溶接後の本溶接で使用する溶接ワイヤ及びシールドガスと同一成分のSiCuワイヤ及びArガスとHeガスとの混合ガスを使用すると良い。

【0099】

また、内筒1側の仮付溶接の場合と同様に、外筒2の場合でも、仮付溶接すべき隅肉継手部 $8-1$ の溶接線 $9-1$ 上を通過するように溶接トーチを配置し、溶接トーチの先端開口部から仮付すべき隅肉継手部 $8-1$ 及びその近傍表面部に向かって混合ガスを流出させて仮付開始位置にTIGアークを発生させ、給電無のSiCuワイヤをTIGアーク中及び溶融プール内に低速送給し、先行ワイヤ後続TIGアークの方向に溶接トーチを走行移動させ、隅肉継手部に所定長さの仮付溶接を施工して仮付ビードを形成するTIG仮付溶接を施工し仮付ビードを形成することで、所定の仮付長さ $X1$ の仮付ビード($k1$ 、 $k2 \cdots kn$)を良好に得ることができる。

【0100】

また、SiCuワイヤを用いてTIG仮付溶接することで、銅と銅との異材溶接であっても、銅と銅及び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仮付ビード及び仮付溶接断面部を得ることができる。更に、複数の仮付部を有する隅肉継手部の本溶接を行うことが可能となる。

【0101】

なお、図8中には、図5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)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 $7-1$ 、 $7-2 \cdots 7-N$ は既に形成済みであり、継手側の姿勢を反転して図示している。

【0102】

図9は、図8に示した外筒側の隅肉継手部に本溶接した溶接部の形状を示す部分斜視図である。

【0103】

本実施例の外筒2側の本溶接では、伝熱銅フィン3を外筒2の内面に傾斜配備して広角形状の隅肉継手部 $8-1$ 、 $8-2 \cdots 8-N$ を形成すると共に仮付して仮組した後に、内筒1側の場合と同様に、TIG-MIG溶接トーチによる本溶接の先行TIGと後続MIGとの複合溶接又はMIG溶接トーチによる本溶接のMIG溶接によって、1パスずつ順番に溶接施工して溶接ビード(溶接断面部) $10-1$ 、 $10-2 \cdots 10-N$ を形成するようにしている。

【0104】

このように、仮組(仮付溶接)後の各隅肉継手部 $8-1$ 、 $8-2 \cdots 8-N$ の溶接線上から本溶接を1パスずつ順番に溶接施工することで、十分な大きさを有するのど厚 $L1$ とビード高さ $H1$ 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(溶接断面部) $10-1$ 、 $10-2 \cdots 10-N$ を得ることができる。

【0105】

また、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110では、図3、図4、図8及び図9に示すように、外筒2側に隅肉継手部を N 箇所形成、又は N 箇所形成すると共に仮付溶接して仮組した後に、その N 箇所の隅肉継手部 $8-1$ 、 $8-2 \cdots 8-N$ 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(本溶接)の繰り返し溶接工程112と、1～5箇所程度の隅肉継手部 $8-1$ 、 $8-2 \cdots 8-N$ 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

10

20

30

40

50

筒 2 側の少数単位での溶接と検査の繰り返し溶接工程 1 1 3 とに分けている。

【0106】

例えば、外筒 2 側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程 1 1 2 では、内筒 1 側の N 箇所の溶接の繰り返し溶接工程 1 0 5 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 の下位表面に記載した点線で示す溶接線 9-1、9-2・・・9-N に対して、シリコン入りの Cu Si 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。

【0107】

このため、内筒 1 側の場合と同様に、外筒 2 側の本溶接の場合でも、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、仮付溶接の場合と同様に、本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。

【0108】

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、端面角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、 $0 \leq S1 \leq 4 \text{ mm}$ の範囲で設定すると良い。また、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(溶接断面部) 10-1 を形成するようにすると良い。

【0109】

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 L1 とビード高さ H1 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。

【0110】

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(溶接断面部) 10-1、10-2・・・10-N を形成することができる。

【0111】

一方、外筒 2 側の溶接(1～5 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 1 1 3 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(溶接断面部) 10-1 を形成するようにすると良い。溶接後に外筒 2 側の溶接品質の検査工程 1 2 0 を行い、また、この外筒 2 側の溶接品質の検査工程 1 2 0 で不合格となった場合は、不合格の溶接部分及びその近傍部を補修溶接工程 1 2 2 で補修するようにしている。

【0112】

また、図 4、図 8 及び図 9 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 の溶接ビード(溶接断面部) 10-1、10-2・・・10-N には、少なくとも溶接部ののど厚 L1 が伝熱銅フィン 3 の板厚 T1 以上($L1 \geq T1$)、ビード高さ H1 が T1 以上($H1 \geq T1$)に形成されており、また、アンダーカット深さ R は($0.1 \times T1$)以下に抑制されている。

【0113】

これによって、上述した内筒 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（溶接断面部） $10-1$ 、 $10-2$ ・・・ $10-N$ を得ることができる。

【0114】

外筒 2 側の繰り返し溶接が終了した後の外筒 2 側の検査工程 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_1 やビード高さ H_1 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、
10 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。

【0115】

内筒 1 側の場合と同様に、外筒 2 側の溶接部に発生したアンダーカット過大、のど厚不足又はビード高さ不足等の溶接不良部は、補修溶接(肉盛補修)する必要がある。図 10 に示すように、外筒 2 側の検査工程 114、120 では、溶接品質の合否判定を行うため、例えば、のど厚 L_1 が $L_1 < T_1$ 、又はビード高さ H_1 が $H_1 < T_1$ 、又はアンダーカット深さ R が $R > (0.1 \times T_1)$ の時は不合格(溶接不良)と判定し、不合格判定の溶接不良部及びその近傍部は、補修溶接工程 116、122 で補修溶接を実施する。

【0116】

内筒 1 側の場合と同様に、不合格判定の溶接不良部を補修溶接工程 116、122 で補修する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 (本溶接工程)で使用した TIG-MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチと同一又は同種の溶接トーチ、同一成分の溶接ワイヤ及びシールドガスをそれぞれ使用すると共に、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 で施工した時の溶接方向と同一方向に TIG-MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを走行させ、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接又は MIG 溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード（溶接断面部） $10-1$ の上から肉盛するように、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード $100-1$ を形成するようにしている。
20

【0117】

また、補修溶接工程 116、122 で溶接不良部を補修する場合には、上述したように、各隅肉継手の仮組工程を含む第 1 の溶接工程 110 で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は補修溶接条件よりも MIG 電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を使用し、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 で形成された補修溶接ビード $10-1$ の銅側のビード止端部から伝熱銅フィン 3 表面側に所定距離だけシフトさせた位置の線上に、TIG-MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを配置すると良い。
30

【0118】

そして、溶接不良部及びその近傍部の線上を通過するように TIG-MIG 溶接トーチ又は MIG 溶接トーチを走行させ、先行 TIG と後続 MIG との複合溶接又は MIG 溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード（溶接断面部） $10-1$ の上から肉盛するように、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード $100-1$ を形成するようにしている。
40

【0119】

このように補修溶接することで、のど厚 L_1 不足又はビード高さ H_1 不足及びアンダーカット深さ R 過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード $100-1$ を得ることができる。また、上述したように、本補修方法による補修によって金属キャスク溶接構造物の製造を継続することもできる。

【0120】

補修溶接(肉盛補修)すべき補修箇所は、主に不合格判定された溶接不良部及びその近傍部であり、上述したように、溶接不良部を有する溶接ビード $10-1$ の上から肉盛するよ
50

うに、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工すると良い。なお、合格判定の溶接良好部には補修溶接を施工する必要がないので省略すれば良い。

【0121】

そして、補修終了後に行う補修溶接部の品質検査1141、1201で、補修後のど厚 $L2 \geq T1$ 、ビード積層高さ $H2 \geq T1$ 、アンダーカット深さ $R \leq (0.1 \times T1)$ に回復すると合格判定となり、次工程125に進むようにしている。

【0122】

このように、外筒2側の溶接箇所溶接不良が発生した場合でも、内筒2側の場合と同様に、独自の補修溶接の施工によって、のど厚 $L1$ 不足やビード高さ $H1$ 不足及びアンダーカット深さ R 過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード100-1を得ると共に、除熱性能向上に寄与する大きな溶接のど厚及び熱伝導断面積を確保することができる。

10

【0123】

図11及び図12は、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実施例を示すものである。

【0124】

図11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(溶接ワイヤともいう)、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。

20

【0125】

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。銅と銅との溶接に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る。図示していないが、この他にも、TIG-MIG溶接トーチ11を循環水で冷却する水路が設けられている。

30

【0126】

TIG-MIG溶接トーチ11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の溶接線6に対して、走行移動可能な長尺アーム31の先端部に取付冶具(図示せず)を介して略下向姿勢に取付け、又は長尺アーム31の先端部に取付冶具及び左右・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方向に配置されている。

【0127】

また、走行移動可能な長尺アーム31の代わりに、多関節可動式の溶接ロボットを用い、この溶接ロボットの手首部にTIG-MIG溶接トーチ11を配置(取付)して、TIG-MIG溶接トーチ11を走行移動させながら、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溶接施工するようにしても良い。

40

【0128】

更に、先行TIGの非消耗電極13側のTIGユニット12は、溶接進行方向と逆方向側に後退角 $-\alpha 1$ で傾斜配置され、また、後続MIGの消耗ワイヤ18側のMIGユニット17は、溶接進行方向に前進角 $+\alpha 2$ で傾斜して配置されている。

【0129】

先行TIG側の後退角 $-\alpha 1$ は、 $0 \sim 45$ 度の範囲にすると良い。好ましくは $15 \sim 30$ 度の範囲に配置するとさらに良い。他方の後続MIG側の前進角 $+\alpha 2$ は、 $15 \sim 45$ 度の範囲にすると良い。好ましくは $15 \sim 30$ 度の範囲に配置するとさらに良い。

【0130】

50

また、非消耗電極 13 の先端部の延長線が継手母材の溶接線 6 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。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 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。好ましくは 4～7 mm の範囲に配置するとさらに良い。

【0131】

このように、TIG-MIG 溶接トーチ 11 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 TIG と後続 MIG との複合溶接を安定に施工することができる。

【0132】

なお、TIG ユニット 12 の後退角 $-\alpha_1$ 及び MIG ユニット 17 の前進角 $+\alpha_2$ が 15 度よりも小さ過ぎると、例えば、非消耗電極 13 と消耗ワイヤ 18 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、TIG アーク 22 と MIG アーク 23 で形成する 1 つの溶融プール 24 の形状が細長く不安定になり易い。

10

【0133】

一方、後退角 $-\alpha_1$ 及び前進角 $+\alpha_2$ が上述した角度範囲よりも大き過ぎると、MIG アーク 23 によって溶融される消耗ワイヤ 18 の溶滴が、スパッタとなって先行 TIG 側方向に飛び散り易く、そのスパッタの一部が先行 TIG 側の非消耗電極 13 に付着して非消耗電極 13 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。

【0134】

20

従って、先行 TIG 側の後退角 $-\alpha_1$ は、0～45 度の範囲にすると良いし、後続 MIG 側の前進角 $+\alpha_2$ は、15～45 度の範囲にすると良い。

【0135】

また、非消耗電極 13 と消耗ワイヤ 18 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、TIG アーク 22 と MIG アーク 23 が接近し過ぎ、後続 MIG 側の消耗ワイヤ 18 から発生したスパッタの一部が先行 TIG 側の非消耗電極 13 に付着して非消耗電極 13 を損傷させることがあり、しかも、TIG アーク 22 と MIG アーク 23 の挙動も不安定になり易い。

【0136】

一方、非消耗電極 13 と消耗ワイヤ 18 との距離間隔 f_1 が 9 mm よりも大き過ぎると、TIG アーク 22 と MIG アーク 23 で形成する 1 つの溶融プール 24 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。

30

【0137】

従って、非消耗電極 13 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。

【0138】

更に、継手母材の溶接線 6 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。

40

【0139】

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。

【0140】

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。

50

【0141】

図12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、シールドガス14の流出雰囲気内で、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、給電及び送給する消耗ワイヤ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、第2のシールドガス19の流出雰囲気内で、MIGアーク23をTIGアーク22の後方近傍に発生させる。

10

【0142】

先行TIG側の非消耗電極13を流れる第1の溶接電流Ia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2つのTIGアーク22及びMIGアーク23で1つの溶融プール24を形成し、仮付有継手部の溶接線6上を通過するように溶接方向25aへ移動させながら本溶接するようにしている。

【0143】

第1の溶接電流Iaと第2の溶接電流Ib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Ia及びIb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ようにすると良い。

20

【0144】

非消耗電極13を流れる第1の溶接電流Iaと、消耗ワイヤ18を流れる第2の溶接電流Ibとの比($I_a/I_b=0.8\sim1.2$)の範囲で直流同士の溶接電流Ia、Ib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(溶接断面部)7-1を得ることができる。

【0145】

なお、非消耗電極13を流れる第1の溶接電流Iaと、消耗ワイヤ18を流れる第2の溶接電流Ib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。

30

【0146】

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。

40

【0147】

図12中には、説明し易くするために中央付近の溶接線6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の溶接線6上の溶接開始位置である。

【0148】

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

50

せて、溶接すべき隅肉継手部 5 の溶接線 6 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 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 の先端開口部と、MIG ユニット 17 の先端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 を形成させ、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 の溶接終了位置まで溶接するようにしている。

10

【0149】

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 の溶接開始位置から終了位置までの溶接線 6 上に良好な溶接ビード(溶接断面部) 7-1 を確実に形成することができる。

【実施例 2】

【0150】

図 13 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 を使用して MIG 溶接する場合の例である。

20

【0151】

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 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 の方向に配置されている。

【0152】

また、本実施例での MIG 溶接トーチ 26 は、溶接方向に対して、略垂直又は前進角 $+\alpha_3$ で傾斜配置している。この前進角 $+\alpha_3$ は、 $0 \sim 30$ 度の範囲にすると良い。好ましくは $0 \sim 15$ 度の範囲に配置するとさらに良い。

30

【0153】

なお、前進角 $+\alpha_3$ は記載を省略しているが、図 11 及び図 12 に示した TIG-MIG 溶接トーチ 11 内の MIG ユニット 17 の傾斜角 $+\alpha_2$ に該当するトーチ傾斜角度であり、図 13 に示す MIG 溶接トーチ 26 を使用する場合には、前進角 $+\alpha_3$ を $0 \sim 30$ 度の範囲にすると良い。好ましくは $0 \sim 15$ 度の範囲に配置するとさらに良い。

【0154】

この前進角 $+\alpha_3$ を 30 度よりも大きくして溶接すると、MIG アーク 23 が前方に傾斜し過ぎることから、MIG アーク 23 によって溶融される消耗ワイヤ 18 の溶滴が前方方向へ飛び散り(スパッタ多発)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。

40

【0155】

各隅肉継手の仮組工程を含む内筒 1 側の第 1 の溶接工程 103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 110 で MIG 溶接を実施する場合は、MIG 溶接トーチ 26 の先端開口部から Ar ガスと He ガスとの混合ガスからなる MIG 用シールドガス 27 を流出させながら、MIG 溶接電源 28 側から給電及び送給する消耗ワイヤ 18 の電極極性を正極(プラス)とした MIG アーク(図示せず)を隅肉継手部 5 の溶接線 6 上の溶接開始位置より発生させ、1 つのアーキで 1 つの溶融プール 24 を形成させてから、MIG

50

溶接トーチ 26 を溶接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。

【0156】

消耗ワイヤ 18 へ正極(プラス)の直流電流を給電する直流 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ベース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。

【0157】

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 8 の角度 $\theta 1$ は、 $\theta 1 = 120 \text{ 度} \pm 15 \text{ 度} (105 \leq \theta 1 \leq 135 \text{ 度})$ 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 $\theta 1$ 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 $\theta 2$ は、水平線に対して、 $\theta 2 = 30 \text{ 度} \pm 15 \text{ 度} (15 \leq \theta 2 \leq 45 \text{ 度})$ の範囲となるように配置されている。

【0158】

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。

【0159】

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部 4 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。

【0160】

このため、図 5 及び図 8 に示したように、溶接すべき隅肉継手部 5、8 の角度 $\theta 1$ を 135 度 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なる可能性が高い。

【0161】

一方、隅肉継手部 5、8 の角度 $\theta 1$ を 105 度 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。

【0162】

従って、隅肉継手部 5、8 の角度 $\theta 1$ を $105 \leq \theta 1 \leq 135 \text{ 度}$ 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。

【0163】

また、内筒 1 側又は外筒 2 側の傾斜角度 $\theta 2$ 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 $\theta 1$ 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、8 の角度 $\theta 1$ 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 $\theta 2$ を大きくする方向に変化させ、反対に隅肉継手部 5、8 の角度 $\theta 1$ を大きくする場合には、傾斜角度 $\theta 2$ を小さくする方向に変化させると良い。

【0164】

図 11、図 12 及び図 13 に示した一体構造の T I G-M I G 溶接トーチ 11 及び M I G 溶接専用の M I G 溶接トーチ 26 は、図 11 に一例として示すように、アーム駆動装置 31-1 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

10

20

30

40

50

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 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。

【0165】

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 2 0 1 による長尺アーム 3 1 の走行指令、T I G 溶接電源 1 5 及び M I G 溶接電源 2 0 への出力指令によって、一体構造の 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 の走行動作及び溶接動作を実行させながら、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が施工されている。

10

【0166】

このようにして、継手傾斜の隅肉継手部 5 の溶接線 6 上に、M I G 溶接トーチ 2 6 又は T I G - M I G 溶接トーチ 1 1 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。

【0167】

上述したように、溶接線 6 は、端面角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 $S 1$ (第 1 の距離 $S 1$) は、 $S 1 = 0 \sim 4 \text{ mm}$ ($0 \leq S 1 \leq 4 \text{ mm}$) の範囲で設定すると良い。好ましくは、 $1 \leq S 1 \leq 3 \text{ mm}$ の範囲にするとさらに良いと考えられる。

20

【0168】

なお、シフト量 $S 1$ が 0 mm より小さ過ぎると、ワイヤ位置又はトーチ位置が鋼側寄りになるため、溶接時のアーク及び溶融プールが鋼側寄りに形成されることから、鋼側の溶込み深さは増加し易くなるが、反対側の鋼側(伝熱銅フィン側)の溶融不足の影響で、溶接部のど厚 $L 1$ 及びビード高さ $H 1$ が減少し、影響過大の場合にはど厚不足又はビード高さ不足に至る可能性が高い。

【0169】

一方、シフト量 $S 1$ が 4 mm より大き過ぎると、溶接時のアーク及び溶融プールが伝熱銅フィン側寄りに形成され易いため、溶接部のど厚 $L 1$ 及びビード高さ $H 1$ は増加し易くなるが、伝熱銅フィンの溶融過大による溶落ち、若しくは反対側の鋼側の溶融不足による接合不良(強度不足)に至る可能性が高い。

30

【0170】

また、伝熱銅フィン 3 (長さ方向短縮)の両端面部の形状については、図 1 3 に示すように、伝熱銅フィン 3 の表面に対して、傾斜面がない略直角な端面の平坦面形状 3 9 であるが、 $30 \text{ 度} \pm 15 \text{ 度}$ の範囲で傾斜させた傾斜面形状の伝熱銅フィン 3 を使用することもできる。伝熱銅フィン 3 の両端面部が平坦面形状 3 9 の場合には、継手底面部の開口によってギャップ等が生じ易いが、傾斜面形状の伝熱銅フィン 3 の場合と比べて加工コストを低減することができる。

【実施例 3】

【0171】

図 1 4 は、本発明の実施例 3 に係わる T I G - M I G 溶接トーチの概略構成及び溶接ビード部の上から肉盛するように T I G - M I G 補修溶接するトーチ配置の一実施例を示すものである。

40

【0172】

本実施例における補修溶接に使用する溶接トーチ 1 1 A は、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒 1 側の第 1 の溶接工程 1 0 3、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒 2 側の第 2 の溶接工程 1 1 0 で使用した溶接トーチと同一又は同種の T I G - M I G 溶接トーチであり、補修すべき溶接線 6 0 上を通過するように配置されている。

【0173】

この補修すべき溶接線 6 0 は、補修すべき溶接不良部を有する内側溶接部 7 の伝熱銅フ

50

ィン3側のビード止端部7bから伝熱銅フィン3の表面側に所定距離だけシフトさせた位置であり、そのシフト量 $S2$ （第2の距離）は $0 \sim 3 \text{ mm}$ の範囲($0 \leq S2 \leq 3 \text{ mm}$)に設定すると良い。好ましくは $1 \leq S2 \leq 2 \text{ mm}$ の範囲に限定するとさらに良い。

【0174】

また、このTIG-MIG補修溶接に使用する溶接ワイヤ18やシールドガス14、19等は、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用したものと同一成分のSiCuワイヤ、ArガスとHeガスとの混合ガスであり、更に、TIG溶接電源15やワイヤ送給装置を含むMIG溶接電源20等も同様なものを使用すると良い。

【0175】

このように、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110と補修溶接工程109、116、119及び122とで使用する装置を兼用化することで、設備投資削減や製造コスト低減を図ることができる。

【0176】

上述した補修溶接工程109、116、119及び122で、アンダーカット深さ過大やのど厚不足等の溶接不良部をTIG-MIG補修溶接する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は補修溶接条件よりもMIG電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を使用し、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で形成された溶接ビード部7の伝熱銅フィン3側のビード止端部7bから伝熱銅フィン3の表面側に所定距離だけシフトさせた位置($0 \leq S2 \leq 3 \text{ mm}$)の補修すべき溶接線60上にTIG-MIG溶接トーチ11を配置し、少なくとも補修すべき溶接不良部及びその近傍部の補修すべき溶接線60上を通過するようにTIG-MIG溶接トーチ11を走行させ、先行TIGと後続MIGとの複合溶接によって、溶接不良部を有する内側溶接部7の上から肉盛するように、溶接不良部及びその近傍部に補修溶接を施工して、溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード（溶接断面部）70を形成するようにしている。

【0177】

例えば、TIGユニット12内の非消耗電極13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を溶接ビード7-1及び近傍に発生させ、その後に、他方のMIGユニット17側から給電及び送給する消耗ワイヤ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。

【0178】

そして、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を形成させ、少なくとも補修すべき溶接不良部及びその近傍部の補修すべき溶接線60上を通過するように、TIG-MIG溶接トーチ11を先行TIG及び後続MIGの補修方向25bに走行させ、TIGアーク22及びMIGアーク23によるTIG-MIG補修溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード部7の上から肉盛するように補修溶接を施工し、溶接不良部を消滅させると共に良好な補修溶接ビード70を形成するものである。

【0179】

このようにTIG-MIG補修溶接することで、のど厚 $L1$ の不足又はビード高さ $H1$ の不足及びアンダーカット深さ R の過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修ビード及び補修溶接断面部(補修ビード)70を得ることができる。

【実施例4】

【0180】

図15は、本発明の実施例4に係わるTIG-MIG溶接トーチの概略構成及び溶接ビ

10

20

30

40

50

ード部の上から肉盛するようにT I G補修溶接するトーチ配置の一実施例を示すものである。

【0181】

図14との主な相違点は、M I Gアーク23を発生させずに、T I Gアーク22のみを発生させ、M I Gユニット17側から給電無のコールドワイヤとした消耗ワイヤ18(溶接ワイヤ)を、T I Gアーク22中及び溶融プール24内に、T I G、M I G溶接で使用するワイヤ速度よりも遅い速度で低速送給しながらT I G補修溶接するようにしたことである。

【0182】

なお、このT I G補修溶接に使用するT I G-M I G溶接トーチ11、S i C uワイヤ(消耗ワイヤ18)、A rとH eとの混合ガス、T I G溶接電源15及びM I G溶接電源20等の装置構成は、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用した装置構成(図11及び図12)と同様である。

【0183】

上述した補修溶接工程109、116、119及び122で、T I G-M I G溶接トーチ11を使用してT I G補修溶接する場合には、例えば、T I Gユニット12及びM I Gユニット17の先端開口部からA rとH eとの混合ガスからなるシールドガス14、19を流出させ、T I Gユニット12内の非消耗電極13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、T I Gアーク22を溶接ビード部7及び近傍に発生させ、その後に、他方のM I Gユニット17側から給電無(M I Gアーク無)の消耗ワイヤ18をT I Gアーク22中及び溶融プール24内に、T I G、M I G溶接で使用するワイヤ速度よりも遅い速度で低速送給して、1つのT I Gアーク22で1つ溶融プール24を形成させ、補修すべき溶接不良部及びその近傍部の補修すべき溶接線60上を通過するように、T I G-M I G溶接トーチ11を先行ワイヤ及び後続T I Gアーク22の補修方向25bに走行させ、1つのT I Gアーク22及び1つ溶融プール24の形成によるT I G補修溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード7の上から肉盛するように、補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード70を形成するようにしている。

【0184】

なお、先行ワイヤ及び後続T I Gアーク22の補修方向25bと逆方向に、T I G-M I G溶接トーチ11を走行させてT I G補修する場合には、後退角のT I Gアーク22(後方曲がりのアーク形状)の後方からワイヤが、T I Gアーク22中及び溶融プール24内に送給されることになるため、不安定なワイヤ溶融及び溶融プール24の形成によって不良ビードになり易い。

【0185】

このため、先行ワイヤ及び後続T I Gアーク22の方向に、T I G-M I G溶接トーチ11を走行させてT I G補修することで、前進角のT I Gアーク22(前方曲がりのアーク形状)の前方からワイヤが、T I Gアーク22中及び溶融プール24内に送給されるため、ワイヤがスムーズに溶融されると共に溶融プールも安定に形成でき、良好な補修溶接ビードを得ることができる。

【0186】

なお、T I G-M I G溶接トーチ11の代わりにT I G専用トーチを用いてT I G補修溶接を行うように変更することも可能である。

【0187】

このように、T I G補修溶接することで、のど厚L1の不足又はビード高さH1の不足及びアンダーカット深さRの過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード(補修断面部)70を得ることができる。

【0188】

T I G補修溶接すべき溶接線60は、T I G-M I G補修溶接の場合と同様であり、溶

10

20

30

40

50

接不良部を有する溶接ビード7の伝熱銅フィン3側のビード止端部7bから伝熱銅フィン3の表面側へ所定距離S2だけシフトさせた位置であり、そのシフト量S2(第2の距離)は、0~3mmの範囲($0 \leq S2 \leq 3 \text{ mm}$)に設定すると良く、好ましくは、 $1 \leq S2 \leq 2 \text{ mm}$ の範囲にすると更に良い。

【0189】

また、TIG補修溶接に使用する補修溶接条件は、例えば、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用(出力)したTIG電流と同等以上のTIG電流を設定し、溶接(補修)速度Vを90~150mm/分の範囲($90 \leq V \leq 150 \text{ mm/分}$)に設定して入熱量を大きくすると共に、給電無の消耗ワイヤ18を、TIG、MIG溶接で使用するワイヤ速度より遅い速度で低速送給(例えば、2~2.5m/分)すると良い。

10

【0190】

シフト量S2の補修すべき溶接線60上を通過するように、TIG-MIG溶接トーチ11を先行ワイヤ及び後続TIGアーク22の補修方向25bに走行させると共に、補修溶接条件を用いてTIG補修溶接することで、上述したように、のど厚L1の不足又はビード高さH1の不足及びアンダーカット深さRの過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード(補修溶接断面部)70を得ることができる。

【実施例5】

【0191】

図16は、本発明の実施例5に係わるMIG溶接トーチの概略構成及び溶接ビード部の上から肉盛するようにMIG補修溶接するトーチ配置の一実施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り、また、図13に示したMIG溶接の装置構成と同様である。

20

【0192】

図16に示すように、補修溶接工程109、116、119及び122でMIG溶接トーチ26を使用してMIG補修溶接する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用したMIG溶接トーチ26と同一又は同種の溶接トーチ26、同一成分の消耗ワイヤ18(SiCuワイヤ)及びシールドガス27(ArとHeとの混合ガス)をそれぞれ使用すると共に、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で施工した時の溶接方向と同一方向にMIG溶接トーチ26を走行させ、MIGアーク23によるMIG溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード部7の上から肉盛するようにMIG補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接断面部(溶接ビード)70を形成させることができる。

30

【0193】

例えば、MIG溶接トーチ26の先端開口部からArガスとHeガスとの混合ガスからなるMIG用シールドガス27を流出させながら、MIG溶接電源28側から給電及び送給する消耗ワイヤ18の電極極性を正極(プラス)としたMIGアークを溶接ビード部7及びその近傍に発生させると共に、1つのMIGアーク23で1つの溶融プール24を形成させ、溶接不良部及びその近傍部の溶接線60上を通過するようにMIG溶接トーチ26を補修方向25bに走行させ、1つのMIGアーク23及び1つの溶融プール24形成によるMIG溶接によって、溶接不良部を有する溶接ビード部7の上から肉盛するようにMIG補修溶接を施工して溶接不良部を消滅させると共に、良好な補修溶接ビード(溶接断面部)70を形成させることができる。

40

【0194】

このようにMIG補修溶接することで、上述したように、のど厚L1の不足又はビード高さH1の不足及びアンダーカット深さRの過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード(溶接断面部)70を得ることができる。

【0195】

50

また、溶接不良部を有する溶接ビード7のビード止端部7bから伝熱銅フィン3の表面側へMIG溶接トーチ26をシフトさせ、そのシフト量S2(第2の距離)は、TIG-MIG補修溶接の場合と同様であり、上述したように、0mm以上3mm以下($0 \leq S2 \leq 3 \text{ mm}$)の範囲にすると良く、好ましくは $1 \leq S2 \leq 2 \text{ mm}$ の範囲にすると更に良い。

【0196】

また、補修溶接工程109、116、119及び122で溶接不良部及びその近傍部をMIG補修する場合には、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の溶接工程110で使用した溶接条件と略同一の補修溶接条件、又は前記補修溶接条件よりもMIG電圧や入熱量を増加した他の補修溶接条件を使用して補修溶接すると良い。

10

【0197】

上述したシフト量S2の補修すべき溶接線60上を通過するようにMIG溶接トーチ11を補修方向25bに走行させると共に、補修溶接条件を用いてMIG補修溶接することで、上述したように、のど厚L1の不足又はビード高さH1の不足及びアンダーカット深さRの過大等の溶接不良部を確実に消滅させることができ、品質良好な補修溶接ビード(溶接断面部)70を得ることができる。

【実施例6】

【0198】

次に、本発明者等が実際に行った溶接試験及び補修試験の方法及び結果について説明する。

20

【0199】

図17は、本発明の実施例6に係わる補修試験方法及び溶接ビード部の上から肉盛するように補修溶接するトーチ配置を示す一実施例である。

【0200】

本実施例では、多関節可動式の溶接ロボット33を用い、作業台36及び試験固定台35に傾斜配置した伝熱銅フィン(銅板)3と内筒(銅板)1との隅肉継手に対して、事前に溶接施工した溶接ビード7の上位に、溶接ロボット33の手首34に保持したTIG-MIG溶接トーチを垂直下向方向に配置し、補修溶接する試験を実施した。

【0201】

図18は、本発明の実施例6に係わる溶接模擬欠陥部のTIG補修試験片の一実施例を示す斜視図である。

30

【0202】

本実施例でのTIG補修用の試験片は、板厚5mmの銅板(材質:C1020P、サイズ:長さ250×幅80mm)と板厚16mmの炭素鋼板(材質:SM400A、サイズ:長さ250×幅100mm)との隅肉継手を用いた。ワイヤは、1.2mm径のCuSiワイヤ(MG960)、また、シールドガスは、ArガスとHeガス(50~70%)との混合ガスを用いた。

【0203】

そして、隅肉継手の試験片に本溶接のTIG-MIG複合溶接を事前に施工して本溶接ビードを形成し、のど厚不足やアンダーカット深さ過大の溶接欠陥を有する試験片と仮定した。

40

【0204】

模擬欠陥部のTIG補修溶接試験では、図15及び図18に示すように、溶接ビード7(模擬欠陥部)の上位にTIG-MIG溶接トーチ11を配置して走行させ、先行ワイヤ及び後続TIGアーク22によるTIG補修溶接を施工し、約50mm長さの補修溶接断面部(補修溶接ビード70)(1パス又は2パス)を2ヵ所に形成させた。このTIG補修溶接試験では、適正な補修溶接条件を調査するため、トーチ位置のシフト量S2、溶接(補修)速度V、ワイヤ送り速度Wf、TIG電流It等の条件因子を変化させた。

【0205】

図19は、本発明の実施例6に係わる溶接模擬欠陥部のTIG-MIG補修試験片の一

50

実施例を示す斜視図である。

【0206】

本実施例でのTIG-MIG補修用の試験片は、TIG補修用の試験片と同一の材質及びサイズのものを用い、この銅・銅隅肉継手に本溶接のTIG-MIG複合溶接を事前に施工して本溶接ビードを形成し、のど厚不足やアンダーカット深さ過大の溶接欠陥を有する試験片と仮定した。

【0207】

そして、模擬欠陥部のTIG-MIG補修溶接試験では、図14及び図19に示すように、溶接ビード7（模擬欠陥部）の上位にTIG-MIG溶接トーチ11を配置して走行させ、先行TIGアーク及び後続MIGアークによるTIG-MIG補修溶接を施工し、約160mm長さの補修溶接ビード70を1ヵ所に形成させた。このTIG-MIG補修溶接試験では、MIG設定電圧Em等の条件因子を変化させた。

【0208】

表1は、銅板と炭素鋼との隅肉継手試験片に本溶接のTIG-MIG複合溶接試験とその本溶接ビードの上にTIG補修溶接試験及びTIG-MIG補修溶接試験を行った時の溶接条件並びに補修溶接条件を示すものである。

【0209】

【表1】

表 1

番号	TIG入力	TIG出力(測定値)		MIG 設定電圧	MIG 電流/電圧	シールドガス	施工方向	溶接速度	ワイヤ送り速度	ワイヤ溶着 断面積	入熱量	溶け量	電極高さ	ワイヤ走行 待ち時間	ワイヤ送給 待ち時間	ワイヤ引き戻し 時間	補修 パス数	予熱 有無											
No.	(A)	It(A)	Et(V)	Em(V)	(A/V)	20+20L/分		V(mm/min)	Wf(m/min)	(mm ² /min)	Q(kJ/cm)	S1, S2(mm)	h(mm)	T1(s)	T2(s)	T3(s)													
本溶接39	300	299	8.6	27	321/24.9	Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	19.0	2	5	—	—	—	1	有											
補修 1	300	299	15.8	0	0/0		逆方向	90	2.1	26.4	31.5	0	5	2.5	0.3	1.5	1	無											
補修 2		299	15.8					120	2.1	19.8	23.6						2												
本溶接43	300	301	7.8	27	321/25.0		Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	18.6	0.1	4	—	—	—	1	無										
補修 3	300/250 (A/kA)	282	15.6	0	0/0			逆方向	90	2	27.6	29.3	0	5	2.5	0.3	1.5	1											
補修 4		281	15.1						90	2	27.6	28.3						2											
本溶接40	300	298	8.0	27	324/24.8	Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	18.7	2	4.5	—	—	—	1	有											
補修 5	320	320	17.6	0	0/0		逆方向	90	2	25.1	37.5	0	5	2.5	0.3	1.5	1												
補修 6		321	17.9					90	2	25.1	38.3						2												
本溶接45	300	300	7.3	27	318/25.1		Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	18.4	0.1	4	—	—	—		1	無									
補修 8	340	337	18.5	0	0/0			逆方向	90	2.2	27.6	41.6	0	5	2.5	0.3	1.5		1										
補修 9	320	315	16.3						90	2.2	27.6	34.2							1										
本溶接47	300	299	8.5	27	318/25.1	Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	19.0	0.1	4	—	—	—	1	無											
補修 10	320	318	16.5	0	0/0		逆方向	120	2.2	20.7	26.2	1	5	2.5	0.3	1.5	1												
補修 11		319	15.7					90	2.2	27.6	33.4						1												
本溶接48	300	301	8.1	27	321/25.0		Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	18.8	0.1	4	—	—	—		1	無									
補修 12	320	320	16.7	0	0/0			逆方向	120	2.2	20.7	26.7	2	5	2.5	0.3	1.5		1										
補修 13		320	16.9						90	2.2	27.6	36.1							1										
本溶接44	300	301	7.7	27	321/25.2	Ar+He Alシールドガス37	正方向	354	11	35.1	18.6	0.1	4	—	—	—	1	無											
補修 7	300	301	7.4	27	319/25.2						18.4	2	5				1												
											18.4						1												
本溶接49	300	298	8.2	27	318/25.1			Ar+He Alシールドガス37		354	11	35.1	18.8	0.1	4	—	—		—	1									
補修 14	300	299	7.1	27.5	318/25.6								18.5	2	5					1									
													18.5							1									

【0210】

本溶接のTIG-MIG複合溶接試験は、補修溶接する前に、アンダーカット過大やのど厚不足等の溶接不良部を想定した模擬欠陥を有した溶接ビード7を形成させるための試験であり、溶接速度が354mm/分、ワイヤ送り速度が11m/分、TIG電流が約300Aの一定の条件下でTIG-MIG複合溶接を施工した。

【0211】

このTIG-MIG複合溶接試験では、のど厚 L_1 やビード高さ H_1 等の溶接品質に及ぼす影響を調査するため、継手試験片の予熱有無、電極高さ h 及びシフト量 S_1 を変化させて溶接施工し、模擬欠陥の溶接ビード部7を形成させて評価した。

【0212】

一方、模擬欠陥の溶接ビード7の上に肉盛するTIG補修溶接試験では、TIG電流($I_t = 275 \sim 340 \text{ A}$)、ワイヤ送り速度($Wf = 2 \sim 2.5 \text{ m/分}$)、補修溶接速度($V = 90 \sim 120 \text{ mm/分}$)、シフト量($S_2 = 0 \sim 3 \text{ mm}$)等の条件因子を変化させ、図18に示すように、溶接ビード7の上に1パス補修又は2パス補修を施工し、補修溶接ビード部70を形成させて評価した。

10

【0213】

また、模擬欠陥の溶接ビード7の上に肉盛するTIG-MIG補修溶接試験では、本溶接条件と略同一の補修溶接条件を用い、更に、MIG設定電圧を増加させ、図19に示すように、溶接ビード7の上に1パス補修を施工し、補修溶接ビード部70を形成させて評価した。

【0214】

なお、表1中に記載したMIG設定電圧 E_m は、給電ケーブル電圧を含むMIG側の電圧値(電圧検出フィードバック制御の出力電圧に該当)であるため、MIG電極と母材間で計測した電圧値(計測値)よりも約 $1.7 \sim 2 \text{ V}$ 程度高くなっている。

【0215】

20

また、表1中(後述する表2も同様)の左側に記載の各番号は、本溶接(39-49)の試験番号及び補修(1-14)の試験番号である。例えば、表1の最上段に本溶接39、その下に補修1、2を記載しているのは、本溶接39の試験後の溶接ビード上に、補修1、2の試験を施工したからであり、以下の番号配列も同様である。更に、表1中の仮付方向の記入欄に記載の逆方向は、溶接方向に対する表現であり、ワイヤ先行後続TIGアークの方向にTIG補修溶接した試験例、また、正方向も溶接方向に対する表現であり、本溶接の場合と同様に、先行TIGアーク後続MIGアークの方向にTIG-MIG補修溶接した試験例である。

【0216】

表2は、表1に示した溶接条件及び補修溶接条件で試験した時のTIG-MIG複合溶接部とTIG補修溶接及びTIG-MIG補修溶接部の各形状寸法並びに評価結果を示すものである。

30

【0217】

【表 2】

表 2

番号	TIG入力	シールドガス	溶接速度	ワイヤ速度	シフト量	模擬欠陥 その補修	ビード外観 良否	アンダーカット	融合不良 有無	ワイヤ溶融 移行状態	のど厚	ビード 積層高さ	評価
No.	(A)	20+20L/分	V(mm/min)	Wf(m/min)	S1, S2(mm)			(mm)			(mm)	(mm)	
本溶接39	300	Ar+He AHサンダー37	354	11	2	カット過大	良	0.7	無	安定	5.8	6.9	×
補修 1	300		90	2.1	0	欠陥補修	良	0	無	安定	9.3	10.4	△
補修 2			120	2.1			否	0	不良	不安定	10.6	10.7	×
本溶接43	300		354	11	0.1	のど厚不足	良	0	無	安定	6.7	6.7	○
補修 3	300/250 (パルス)		90	2	0	欠陥補修	良	0	無	不安定	9.7	9.8	△
補修 4			90	2			否	0	不良	不安定	9.8	9.8	×
本溶接40	300	Ar+He AHサンダー37	354	11	2	のど厚不足	良	0	無	安定	6.9	6.8	○
補修 5	320		90	2	0	欠陥補修	やや良	0	無	不安定	8.9	10	△
補修 6			90	2			やや良	0	無	不安定	10.7	12.9	△
本溶接45	300		354	11	0.1	のど厚不足	良	0	無	安定	6.8	7.4	○
補修 8	340		90	2.2	0	欠陥補修	否	1.7	溶落ち	不安定	5.1	9.3	×
補修 9	320		90	2.2			良	0	無	安定	9.5	12.9	○
本溶接47	300	Ar+He AHサンダー37	354	11	0.1	のど厚不足	良	0	無	安定	6.6	6.7	○
補修 10	320		120	2.2	1	欠陥補修	良	0	無	安定	9.6	9.9	○
補修 11			90	2.2			良	0	無	安定	9.8	10.5	○
本溶接48	300		354	11	0.1	のど厚不足	良	0	無	安定	6.7	6.8	○
補修 12	320		120	2.2	2	欠陥補修	良	0	無	安定	9.2	12.6	○
補修 13			90	2.2			良	0	無	安定	9.4	14.4	○
本溶接44	300	Ar+He AHサンダー37	354	11	0.1	のど厚不足	良	0.15	無	安定	6.4	6.6	○
補修 7	300				2	欠陥補修	良	0	無	安定	10.9	12	○
							0	10.8			12.1	○	
本溶接49	300		354	11	0.1	のど厚不足	良	0	無	安定	6.4	6.5	○
補修 14	300				2	欠陥補修	良	0	無	安定	10.5	12.8	○
							0	10.4			12.9	○	

【0218】

表 2 中には、各溶接試験片から 3 個ずつ採取した各溶接断面部ののど厚 L、ビード積層高さ H の各値と融合不良有無、ビード外観良否及び合否評価の結果をそれぞれ記している。補修前の本溶接部ののど厚 L 1 は基準値 ($L1 \geq T1$) を全て満足しているが、模擬欠陥有の溶接ビードと仮定し、この模擬欠陥有の溶接ビード部の上に補修ビード部を形成させ、補修終了後の各補修溶接断面部からのど厚 L 2、ビード積層高さ H 2 を計測して評価した。

【0219】

表 2 中の斜線部分は、アンダーカット過大、溶融不良及び溶落ちによる判定で不合格 (×印) になったものであり、○印は品質基準確保の判定で合格になったものである。また、△印については、品質基準を満たしているが、ワイヤ溶融不安定の影響で補修ビードの形状が見劣りする判定で、○印に至らなかったものである。

【0220】

図 20 は、本発明の実施例 6 に係わる溶接 (補修) 速度及びワイヤ送り速度を変化させた時のワイヤ溶着断面積を示す特性図である。図中には、TIG 補修溶接の適用範囲及び代表的な補修溶接断面部の写真を記している。

【0221】

該図の補修溶接断面部の写真から分かるように、上側の補修溶接部は、銅板側及び下側の溶接部の両方に深く溶込んで融合している。ワイヤ溶着断面積 B は、ワイヤ送り速度 Wf に比例増加し、溶接速度 V に反比例する関係にある。

【0222】

良好な補修溶接ビード70が得られる適正なTIG補修溶接の適用範囲は、溶接（補修）速度Vが $90 \leq V \leq 150$ mm/分の範囲であると共に、ワイヤ送り速度Wfが $2 \leq Wf \leq 2.5$ m/分であり、好ましくは $2 \leq Wf \leq 2.2$ m/分である。

【0223】

この適用範囲でTIG補修溶接を施工することで、アンダーカット深さ過大やのど厚不足等の溶接不良部を確実に消滅できると共に、品質良好な補修溶接ビード（補修溶接断面部）を得ることができる。

【0224】

なお、溶接（補修）速度Vが150 mm/分より速過ぎると、入熱不足及びワイヤ溶着断面不足の影響で不良ビードになり易い。また、ワイヤ送り速度Wfが2 m/分より少な過ぎると、ワイヤ溶着断面不足の影響で、補修溶接時にワイヤの溶融状態及び溶融プールの形成状態が不安定になって不良ビードになり易い。

【0225】

一方、補修速度Vが90 mm/分より遅過ぎる場合は、作業時間の増加による生産効率低下を伴うと共に、入熱増加及びワイヤ溶着断面増加の影響で肉盛すべき補修ビードが鋼側の溶接ビードへ垂れ下がり易くなる。また、ワイヤ送り速度Wfが2.5 m/分より多過ぎる場合は、ワイヤ溶着断面が増加するが、のど厚増加になり難く、ワイヤ溶融の不安定化の影響で補修ビードが鋼側の溶接ビードへ垂れ下がり易くなる。

【0226】

従って、上述した適用範囲でTIG補修溶接を施工することで、良好な補修溶接ビードを安定に形成することができる。

【0227】

図21は、本発明の実施例6に係わるTIG-MIG複合溶接した後の本溶接ビードの上からTIG補修溶接した時の補修ビード及び補修有無部の溶接断面の一実施例を示す試験結果の写真図である。

【0228】

該図のビード外観写真中に記載の番号は、表1及び表2に示した試験番号である。また、各溶接（補修）断面部は、本溶接ビード部の1ヶ所と2ヶ所の補修ビード部から各々採取した位置を記している。TIG-MIG複合溶接した本溶接ビードの溶接速度は354 mm/分であり、また、TIG補修溶接した補修ビードの溶接（補修）速度は90 mm/分の場合と120 mm/分の場合である。

【0229】

該図の補修溶接断面部の写真から分かるように、上側の補修溶接部は、銅板側及び下側の溶接部の両方に深く溶込んで融合している。

【0230】

このように、溶接ビード7の上からTIG補修溶接を施工することで、アンダーカット深さ過大やのど厚不足等の溶接不良部を確実に消滅できると共に、品質良好な補修溶接ビード（補修溶接断面部）70を得ることができる。また、TIG-MIG複合溶接による本溶接方法並びにTIG補修溶接による補修方法を金属キャスク溶接構造物の製造ラインへ適用することで、金属キャスク溶接構造物の製造を継続することができる。

【0231】

TIG補修溶接では、本溶接のTIG-MIG複合溶接の場合と比べて、溶接（補修）速度が遅い。このため、例えば、補修すべき溶接不良部の長さが比較的短い溶接線に対して、TIG補修溶接を適用することで、補修作業の時間短縮を図ることができる。

【0232】

図22及び図23は、本発明の実施例6に係わるTIG-MIG複合溶接した後の本溶接ビードの上からTIG補修溶接又はTIG-MIG補修溶接した時のトーチ位置のシフト量と補修前後ののど厚及びビード積層高さの関係を示す一実施例の特性図である。

【0233】

図 2 2 に示すように、補修前の本溶接部ののど厚 L_1 は、 $6.4 \sim 6.7 \text{ mm}$ の大きさで基準値 ($L_1 \geq T_1$) を満足しているが、溶接ビード 7 の上からシフト量 S_2 (第 2 の距離) を変化 ($S_2 = 0 \sim 3 \text{ mm}$) させて T I G 補修溶接した時ののど厚 L_2 は、バラツキがあるものの、約 $9.2 \sim 9.8 \text{ mm}$ の大きさ (約 1.4 倍) に増加している。また、T I G-M I G 補修溶接の場合には、 $10.5 \sim 10.9 \text{ mm}$ であり、T I G 補修溶接部ののど厚 L_2 よりも大きく形成されている。

【0 2 3 4】

一方、ビード積層高さ H_2 は、図 2 3 に示すように、シフト量 S_2 の増加に伴って増加する傾向がある。補修前のビード高さ H_1 が約 $6.7 \sim 6.8 \text{ mm}$ であるのに対して、シフト量 S_2 を 2 mm に設定して補修溶接した時のビード積層高さ H_2 は、バラツキがあるものの、約 $12.1 \sim 12.9 \text{ mm}$ の大きさ (約 1.8 ~ 1.9 倍) に増加してしている。

10

【0 2 3 5】

このような結果から、例えば、補修前ののど厚 L_1 及びビード高さ H_1 の各値が基準値 ($L_1 \geq T_1 = 5$ 、 $H_1 \geq T_1$) を下回る 4 mm 程度の場合でも、上述した補修溶接を施工することで、基準値を満足する大きさに改善することができる。また、アンダーカット深さが 1 mm 前後ある場合でも、アンダーカット部及びその近傍に肉盛するように補修溶接を施工することで、アンダーカットを確実に消滅させることができると共に、基準値を満足するのど厚 L_2 及びビード積層高さ H_2 を有する良好な補修溶接ビード (補修溶接断面部) が形成できる。

【0 2 3 6】

20

なお、シフト量 S_2 が 3 mm より大き過ぎると、補修時のアーク及び溶融プールが銅側 (伝熱銅フィン側) 寄りに形成され易いため、ビード積層高さ H_2 は増加する可能性があるが、のど厚 L_2 増加が望めず、伝熱銅フィンの溶融過大による溶落ちに至る可能性が高い。一方、シフト量 S_2 が 0 mm より小さ過ぎると、補修時のアーク及び溶融プールが溶接ビード寄りに形成され易いため、補修後ののど厚 L_2 及びビード積層高さ H_2 の増加にならず、溶接ビード側へ垂れ下がり易くなる。

【0 2 3 7】

従って、シフト量 S_2 を $0 \leq S_2 \leq 3 \text{ mm}$ の範囲に、好ましくは $1 \leq S_2 \leq 2 \text{ mm}$ の範囲に設定して、T I G-M I G 補修溶接又は T I G 補修溶接を施工することで、上述したように、アンダーカット深さ過大やのど厚不足等の溶接不良部を確実に消滅できると共に、良好な補修溶接ビード (補修溶接断面部) を得ることができる。

30

【0 2 3 8】

図 2 4 は、本発明の実施例 6 に係わる T I G-M I G 複合溶接した本溶接ビードの上から T I G-M I G 補修溶接した時の補修溶接ビード及び補修有無部の溶接断面の一実施例を示す試験結果の写真図である。

【0 2 3 9】

該図のビード外観写真中に記載の番号は、図 2 1 に示した結果の場合と同様に、表 1 及び表 2 に示した試験番号である。また、各溶接 (補修) 断面部は、本溶接ビード部の 1 ヶ所と補修ビード部の 2 ヶ所から各々採取した位置を記している。

【0 2 4 0】

40

本溶接ビード 7 の上から T I G-M I G 補修溶接した補修溶接ビード 7 0 の溶接速度は、本溶接時と同一速度の 354 mm/分 であり、T I G 補修溶接の場合と比べて約 3 倍速く補修することができる。また、T I G-M I G 補修溶接では、例えば、本溶接の T I G-M I G 複合溶接で使用した溶接条件よりも、M I G 設定電圧 E_m を 1 V 前後高くした補修溶接条件を使用して補修施工することで、補修ビードの表面形状を滑らかに改善することができ、また、補修作業の時間短縮を図ることも可能である。

【0 2 4 1】

上述したように、T I G-M I G 補修溶接では、本溶接の T I G-M I G 複合溶接と同一速度で補修溶接することができる。このため、例えば、補修すべき溶接不良部の長さが比較的長い溶接線に対して、T I G-M I G 補修溶接を適用することで、補修作業の時間

50

短縮を図ることができる。補修すべき溶接不良部の長さの相違に応じて、TIG-MIG補修溶接とTIG補修溶接とを使い分けて施工すると良い。

【0242】

また、TIG-MIG補修溶接又はTIG補修溶接では、本溶接工程で使用した溶接トーチと同一又は同種のTIG-MIG溶接トーチ11、同一成分のSiCuワイヤ（消耗ワイヤ18）及びArガスとHeガスとの混合ガス（第1、第2のシールドガス14、19）を使用して補修溶接を施工することで、装置の兼用化や設備投資削減や製造コスト低減等を図ることができる。

【0243】

一方、図24に示す補修溶接断面部の写真から分かるように、上側の補修溶接部は銅板側（伝熱銅フィン側）及び下側の溶接部の両方に深く溶込んで融合している。補修前の溶接ビード及びその溶接断面部7には、アンダーカット等の溶接不良部は発生していないが、欠陥部の補修溶接を想定した補修試験のように、模擬欠陥部の溶接ビード7の上からTIG-MIG補修溶接を施工することで、アンダーカット深さR過大やのど厚L2不足等の溶接不良部を確実に消滅できると共に、品質良好な補修溶接ビード（補修溶接断面部）70を得ることができる。

10

【0244】

このような結果から、例えば、アンダーカット深さが1mm前後ある場合、又はのど厚L1及びビード高さH1が基準値（ $L1 \geq T1 = 5\text{mm}$ 、 $H1 \geq T1$ ）を下回る4mm程度の場合でも、これらの溶接不良部及びその近傍に肉盛するようにTIG-MIG補修溶接を施工することで、アンダーカットを確実に消滅させることができると共に、基準値を満足するのど厚L2及びビード積層高さH2を有する良好な補修溶接ビード（補修溶接断面部）70が形成できる。

20

【0245】

また、TIG-MIG複合溶接による本溶接方法、並びに同様なTIG-MIG補修溶接による補修方法を金属キャスク溶接構造物の製造ラインへ適用することで、金属キャスク溶接構造物を製造及び継続することができる。

【0246】

また、上述した前記TIG-MIG補修溶接又はTIG補修溶接によって形成された補修ビード及び補修断面部70には、少なくともアンダーカット深さR過大、のど厚L1不足又はビード高さH1不足等の溶接不良部が消滅しており、かつ、補修前の溶接部を含む補修溶接部のビード積層高さH2が補修後ののど厚L2より大きく、補修後ののど厚L2も伝熱銅フィンの板厚T1より大きく（ $H2 > L2 > T1$ ）形成できる。

30

【0247】

更に、TIG-MIG溶接トーチ11の代わりに、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の本溶接工程110で使用した溶接トーチと同一のMIG溶接トーチ26、同一成分のSiCuワイヤ及びArガスとHeガスとの混合ガスを用い、各隅肉継手の仮組工程を含む内筒1側の第1の溶接工程103、各隅肉継手の仮組工程を含む外筒2側の第2の本溶接工程110で使用したMIG溶接条件と略同一の補修溶接条件、又はこの補修溶接条件よりもMIG設定電圧や入熱量を少し高くした補修溶接条件を用い、補修溶接工程109、116、119及び122でMIG補修溶接することも可能であり、MIG補修溶接によって形成された補修ビード及び補修断面部70には、少なくともアンダーカット深さR過大、のど厚L1不足又はビード高さH1不足等の溶接不良部が消滅しており、かつ、補修前の溶接部を含む補修溶接部のビード積層高さH2が補修後ののど厚L2より大きく、補修後ののど厚L2も伝熱銅フィンの板厚T1より大きく（ $H2 > L2 > T1$ ）形成することができる。

40

【0248】

また、上述したように、TIG-MIG補修溶接の場合と同様に、溶接不良部を有する溶接ビード7の上から肉盛するようにMIG補修溶接することで、のど厚L1不足又はビード高さH1不足及びアンダーカット深さR過大等の溶接不良部を確実に消滅させること

50

ができ、品質良好な補修溶接ビード（補修溶接断面部）70を得ることができる。

【0249】

なお、本発明は上述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。

【符号の説明】

【0250】

1…内筒、2…外筒、2-2…外筒板、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…仮付溶接すべき継手部材の溶接線、7…内側溶接部、7b…ビード止端部、7、7-1、7-2・・・7-N、10-1、10-2・・・10-N…溶接ビード（溶接断面部）、10…外側溶接部、11…TIG-MIG溶接トーチ、11A…溶接トーチ、12…TIGユニット、13…非消耗電極、14…第1のシールドガス、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、20-1…溶接制御機器、22…TIGアーク、23…MIGアーク、24…溶融プール、25a…溶接方向、25b…補修方向、26…MIG溶接トーチ、27…MIG用シールドガス、31…長尺アーム、31-1…アーム駆動装置、33…溶接ロボット、34…手首、35…試験片固定台、36…作業台、60…補修すべき溶接線、70、70-1、70-2、100-1、100-2…補修溶接ビード、99…伝熱銅フィンの溶接手順（その1）、100…伝熱銅フィンの溶接手順（その2）、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箇所の溶接の繰り返し溶接工程、106…内筒側の少数単位での溶接及び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箇所の溶接の繰り返し溶接工程、113…外筒側の少数単位での溶接及び検査の繰り返し溶接工程、114、120…外筒側の検査工程、123…外筒の溶接仕上げ工程、1071、1171…補修溶接部の品質検査、Aw…ワイヤ溶着断面積、c…鋼側の溶込み深さ、d…ワイヤ径、H1…溶接部のビード高さ、H2…補修後のビード積層高さ、Ia…第1の溶接電流、Ib…第2の溶接電流、L1…溶接部ののど厚、L2…補修後ののど厚、S1…溶接時のシフト量（第1の距離）、S2…補修時のシフト量（第2の距離）、R…アンダーカット深さ、T1…伝熱銅フィンの板厚、V…溶接速度、Wf…ワイヤ送り速度、Xw…溶接線長さ。

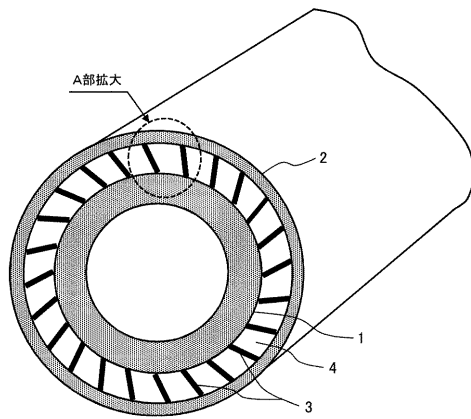
10

20

30

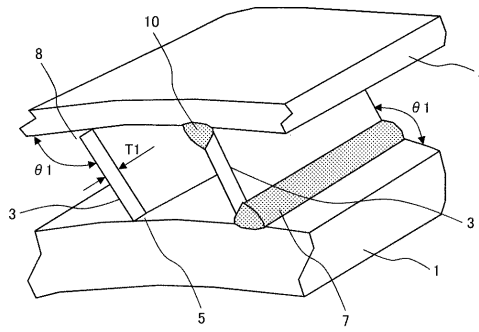
【図 1】

図 1



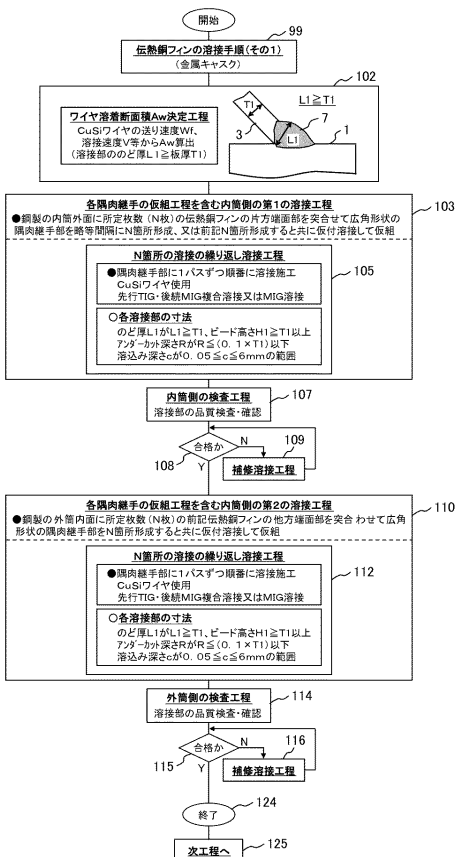
【図 2】

図 2



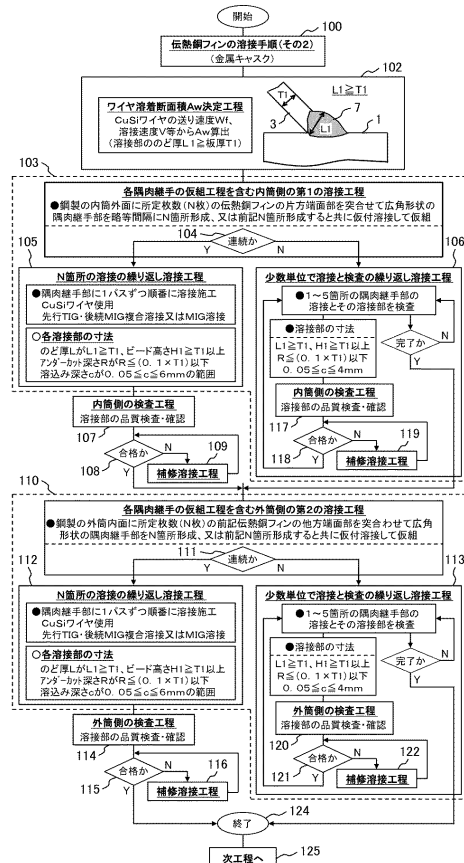
【図 3】

図 3

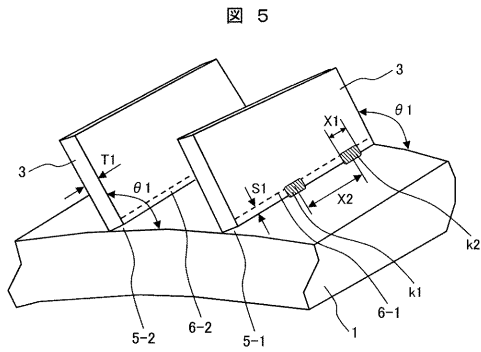


【図 4】

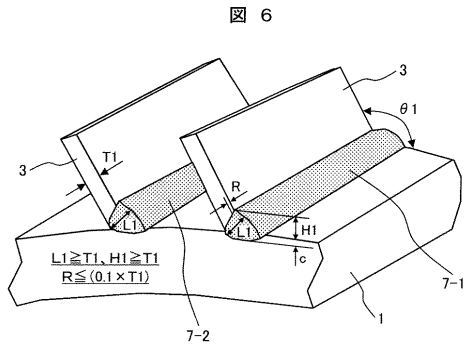
図 4



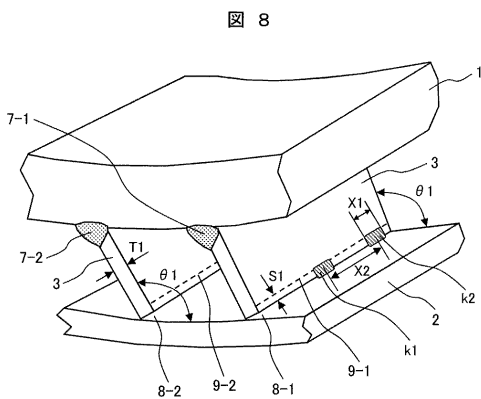
【図 5】



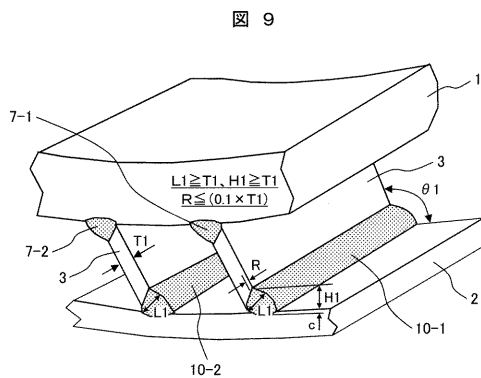
【図 6】



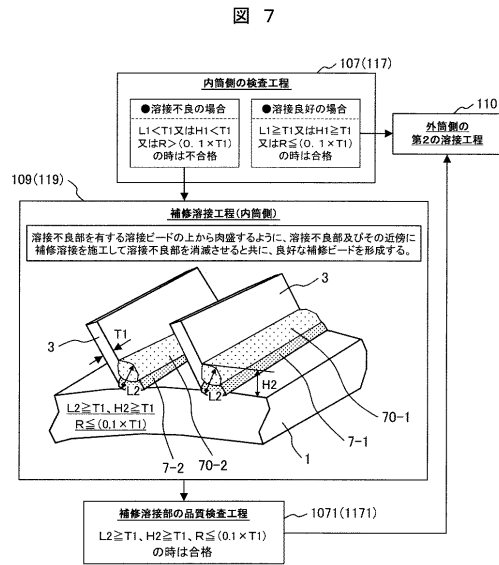
【图 8】



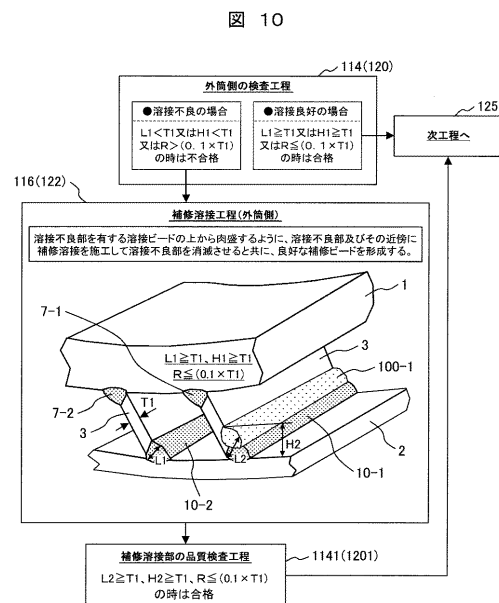
【图 9】



【圖 7】

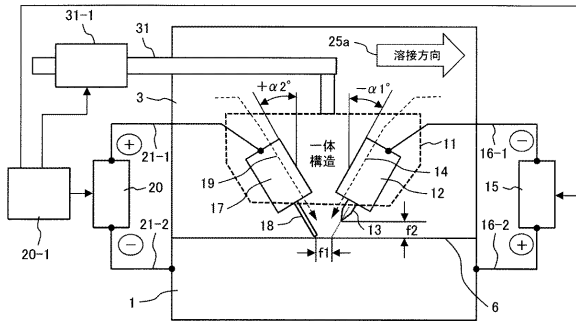


【図 10】



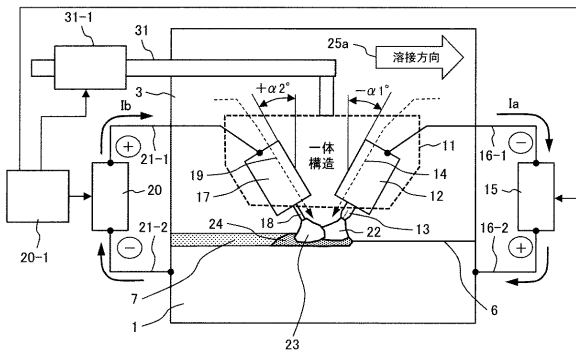
【図 1 1】

図 11



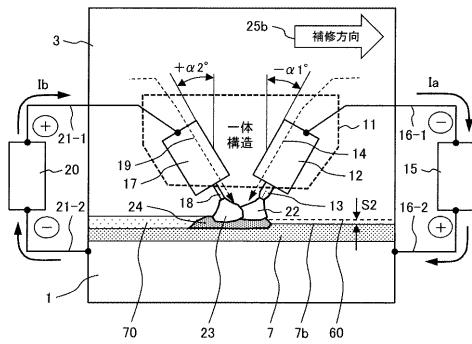
【図 1 2】

図 12



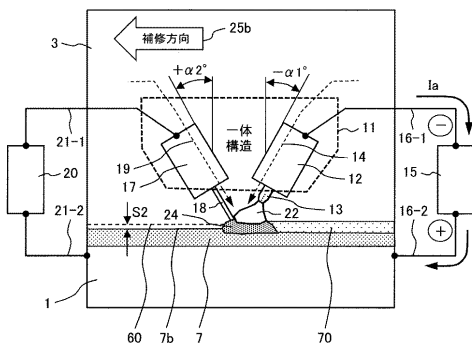
【図 1 4】

図 14



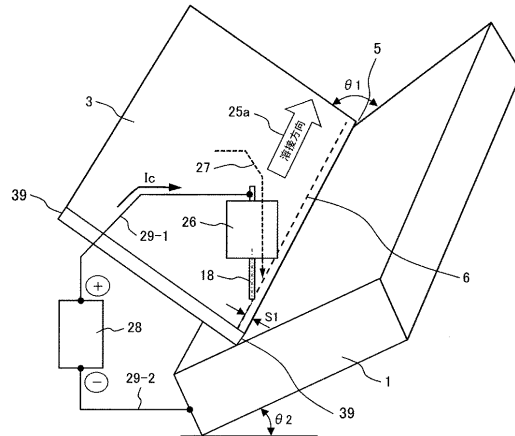
【図 1 5】

図 15



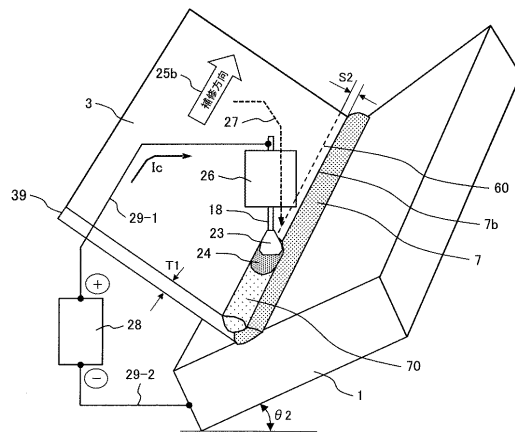
【図 1 3】

図 13



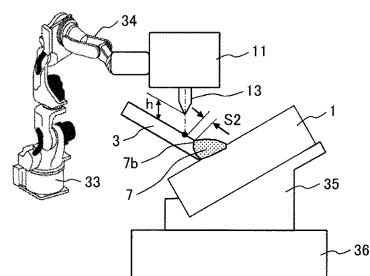
【図 1 6】

図 16

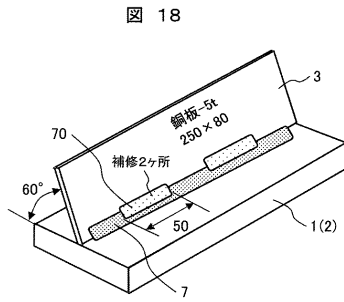


【図 1 7】

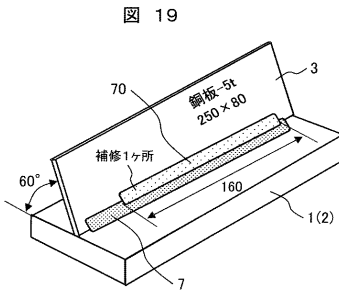
図 17



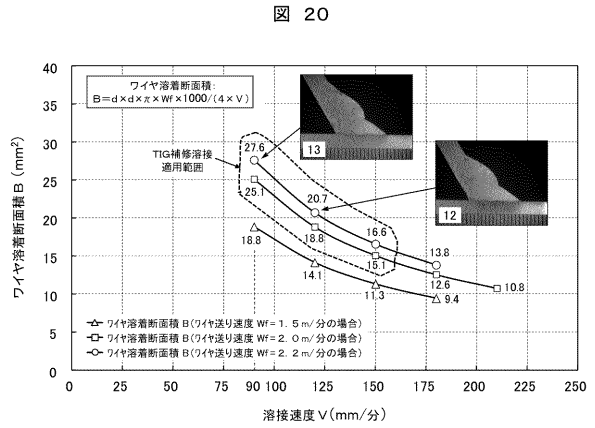
【図 18】



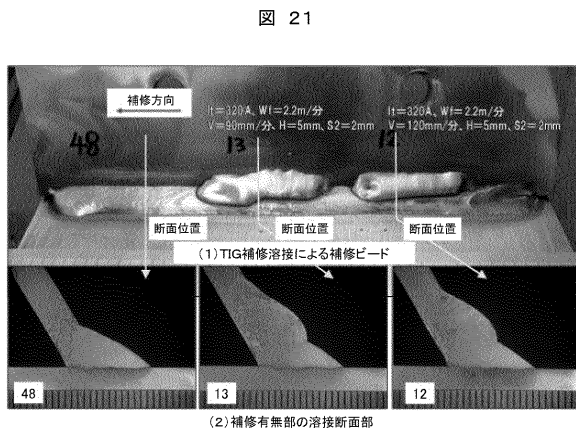
【図 19】



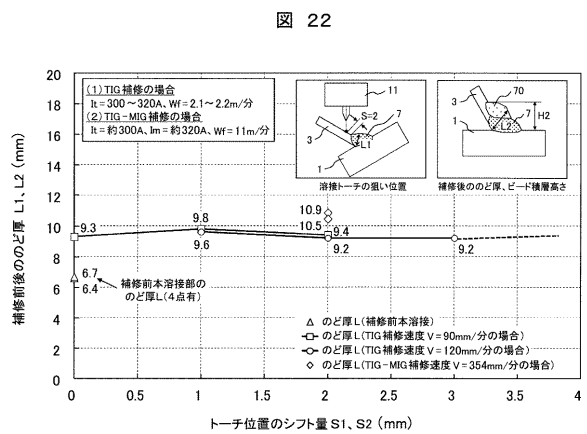
【図 20】



【図 2 1】

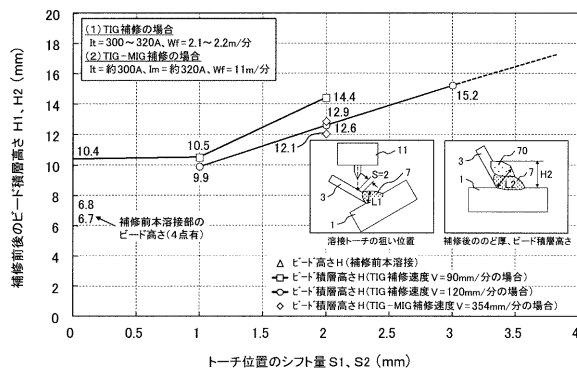


【图 2 2】



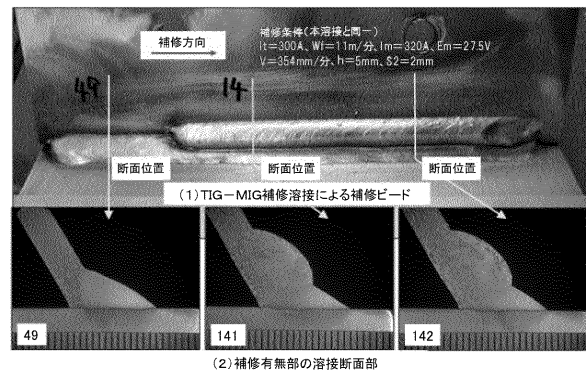
【図 23】

図 23



【図 24】

図 24



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			
B 2 3 K	9/16	(2006.01)	B 2 3 K	9/16	K
G 2 1 F	5/10	(2006.01)	G 2 1 F	5/10	P

(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

審査官 右▲高▼ 孝幸

(56)参考文献 特開2009-178727 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 2 1 C	1 9 / 3 2
B 2 3 K	9 / 1 6
B 2 3 K	9 / 1 6 7
B 2 3 K	9 / 1 7 3
B 2 3 K	9 / 2 3
B 2 3 K	3 1 / 0 0
G 2 1 F	5 / 1 0