真空用機器材料の溶接について

大 森 仁 平*

On the Welding of Vacuum Equipment Materials

Jimpei OHMORI

1. は し が き

真空用材料あるいは、真空用機器の溶接はその使用目的、構造などによっても異なるが相当困難に思われがちであり、事実いろいろ注意がいるが、基本的技術が適正であればさして不可能というものでもない。とくに溶接方法、接手設計、溶接棒の選択、検査、再溶接などの基礎事項について正しい指導が望まれる。

この文は主として鋼材の溶接について基本的問題を述べるものであるが、真空用機械の接合のうちろう接については別稿で取上げられるからここでは割愛する。

2. 溶接法について

金属の接合法を分類すると第1表のようになる。ここで真空用機械に対して確実な接合法はいうまでもなく、融接とろう接であろう。

第1表 金属の接合法

```

graph LR
    A[金属接合法] --- B[冶金的接合]
    A --- C[機械的接合]
    B --- D[圧接]
    B --- E[融接]
    B --- F[ろう接]
    D --- G[鍛接]
    D --- H[電気抵抗溶接]
    D --- I[加圧テルミット]
    D --- J[ガス圧接]
    E --- K[ガス溶接]
    E --- L[アーク溶接]
    E --- M[テルミット溶接]
    F --- N[リベット継ぎ]
    F --- O[折込み継ぎ]
    F --- P[焼きばめ]
  
```

融接とは溶融溶接のことで、母材同志あるいは母材と溶接棒とともに溶融して接合する方法で現在金属接合法として最も多く用いられており、中でもアーク溶接とガス溶接が多い、ろう接（鍛接）は母材よりも低い融点をもった非鉄金属またはその合金を溶加材として用い、その溶融した溶加材が毛細管引力で継手の接着した間隙の表面に拡がって接合するのである。この溶加材の種類により真鍮鑲、銀ろうなど称している。

ろう接は真空用機器類の有力な接合法であるが別稿にゆずり、ここではガス溶接とアーク溶接を主として述べることにする。

A ガス溶接法

酸素アセチレン溶接をいい、溶接棒および母材をアセチレン火焰により溶解し、融接する、その機構は第1図

第1図 酸素アセチレン溶接（標準焰）

のごとくであるが、溶接材料の種類により火焰の質を標準焰、アセチレン過剰焰などに使いわけて溶接する。ガス溶接は真空維持のためにはアーク溶接よりも良いが、溶接士の技術差が敏感に影響することと、溶接熱影響部が大であること、歪の生成が多いことなどに問題がある。また組織が粗く靱性に乏しい。本法は材料の厚さが比較的薄いもの（約6mm以下）鋼鉄、小径鋼管、鉛、などの溶接には適当である。

B アーク溶接法

アーク溶接法を分類すると

アーク溶接法				
	a	被覆金属アーク溶接	—	交流
	b	炭素アーク溶接		直流
	c	サブマージッドアーク溶接 (潜弧溶接)		
	d	イナートガスアーク溶接		
	e	原子水素弧溶接		

のようになる。これなどはいずれもアークの熱源を利用して融接する方法であるが、a. b. c. は溶融金属の移行の際空気の接触を遮蔽する方式が異なり、d. c. は溶加材の溶し方を変えたものである。真空用機材の溶接法としては a. b. および c が用いられる。

*住友金属工業株式会社鋼管製造所 主任研究員

a 被覆金属アーク溶接

最も多く使われている方法で、被覆剤を塗布した金属電極（溶加材）と被溶接物との間にアークを発生させて融接するもので、交流電源の場合を交流溶接、直流の場合を直流溶接という、溶接の機構略図は第2図のごとくである。真空用機器、配管の溶接の場合、本法は材料の

第2図 被覆金属アーク溶接略図

厚さ約 6mm 以上に適し、熱影響部や歪などが小さい、ただ真空維持には幾分困難が伴う時があり、被覆溶接棒の品質と選定にはとくに注意が要る。なお、直流と交流溶接機との比較は第2表に示しているが、特殊鋼や非鉄

第3図 イナートガスアーク溶接

金属では直流に限定する場合があるが、真空維持の面からはとくに差がなく溶接棒の品質が主要素となる。

b イナートガスアーク溶接

最近10年間に最も進歩普及した方法で、第3区に機構略図を示すが、これは裸の金属電極と溶接物との間にアークを発生させ加熱融合する際、空気との遮蔽に、アルゴンまたはヘリウムのごとき不活性ガスを用いるのである。この場合電極としてタングステン棒を用いる方法（TIG）と溶加材自身が消耗電極となる方法（MIG）とがあり、自動溶接もできるようになっている。

イナートガスアーク溶接は真空機材の溶接としては熟

第2表 直流溶接機と交流溶接機の比較

	直 流 機	交 流 機
利 点	<ol style="list-style-type: none"> 1 力率の問題がなく、負荷分布が良好 2 アークの維持が容易で、極性の利用が可能 3 溶接速度の増大が可能 	<ol style="list-style-type: none"> 1 装置が簡単で安価 2 取扱が容易で、故障が少ない 3 効果がよい
欠 点	<ol style="list-style-type: none"> 1 価格が大 2 比較的故障を起しやすい 3 磁気吹きがある 	<ol style="list-style-type: none"> 1 アークの維持が困難で、被覆棒を使わなければならない 2 力率が低い 3 電撃の危険が多い

練を要し、また微小気孔の生成などあり取扱いには充分慎重にしなければならない。但し溶接部が清浄であり、非金属介在物が少く、特殊鋼または非鉄金属は本法によらねばならない場合が多くなっている。

c ザブマージッドアーク溶接

潜弧溶接ともいい、自動金属アーク溶接として発達したものである。

この方法は第4図に示すように溶接棒を電極として母材との間にアークを発生さす際溶接部を硝子質粒状の特殊溶滓物（コンポジション）によって覆いアークが直接

第4図 サブマージッドアーク溶接の状況

曝されない。

この方法は一定溶接構造の多量生産に有効でいわゆる高能率作業に適する。

真空用機器の溶接には溶込みが良好で、微小キレツがなく有効であるが、小形の機器では溶接接手が複雑で、小さく、経済的な適用が難しいことがある。

第5図は各種溶接法による溶接部断面肉眼組織を示している。第3表は各種溶接法の一般的比較を示した。

3. 被覆溶接棒について

金属アーク溶接でその成果に関係する最も重要な因子はアーク溶接棒の良否であり、被覆剤の性能、品質である。とくに真空機材の溶接には選定に注意を要する。

第3表 各種溶接法の比較

項目 溶接法	操作要領	適用範囲		欠陥の 生成状況	経済性	真空維持 性能
		寸法	材質			
酸素アセチレン 溶接	基礎訓練を要 する	厚物に不適 (最大20 mm以下)	材質につい ては余り制 限なし	材質により異 るも薄物では 欠陥少し	比較的低廉	材質により異 るも四方法中 最良
被覆金属アーク 溶接	習熟幾分容易	薄物に不適 (最小5 mm 以上)	溶接棒の品 質が重要因 子	溶接棒の品質 操作法により 左右さる	低廉なるも材 質により、前 後処理を要す	操作法、溶接 棒の品質によ り異なる
イナータガスア ーク溶接	熟練を要する	薄物に適用 (10 mm以上は困難)	材質につい ては余り制 限なし	欠陥少きも操 作法の影響あ り	本法のみでは 高価・併用す る事あり	施工者により 異なる 少々良 好
サブアージッド アーク溶接	応用技術の知 識を要する	厚物に有効 薄物でも可	ロッド、コン ポジションに より制限あり	欠陥少し	幾分高し、多 量生産なれば 廉い	概ね良好

第5図 各種溶接部の断面状況

1. ガス溶接 (Mo 鋼)
2. フラッシュバット溶接 (Mo 鋼)
3. アルゴンアーク溶接 (Cr-Mo 鋼)
4. 被覆金属アーク溶接 (母材 Cr-Mo 鋼、溶接棒 D 308)
5. 同上(b)第1層 D 308, 第2~4層(Cr-Mo鋼)
6. アルゴンアーク、金属アーク溶接 (第2~4層金属アーク)

被覆溶接棒には Shielding の形式にスラッグ生成式、ガス発生式、半ガス発生式の3種があるが、真空維持の

第6図 主な被覆溶接棒の性質比較 (代表例)

第4表 被覆剤の型式

被覆剤の種別	—イルミナイト系
	—高酸化鉄系
	—高酸化チタン系
	—ライム系（低水素型）
	—ライムチタニヤ系
	—鉄粉系（酸化鉄、チタニヤ、ライム型）
	—高セルローズ系

ためにはスラッグ生成式がよい。この被覆剤の形式は第4表のようで、これなどはそれぞれ作業性、溶込み、ビード形状あるいは溶着金属の性質に若干の差異がある。第5表はJIS規格 (Z3211) の軟鋼被覆アーク溶接棒のうち主たる品種10種について作業性に関する主要事項を集約したものである。ここでD43×は溶着金属

第5表 軟鋼被覆アーク溶接棒の種類と作業性

記号	被覆形式	電流の種類	溶接姿勢	表面の観	溶込み	スラッグ(剝離性)
D4301	イルミナイト	AC. DC	全	凸波面状	中位	中位(普通)
D4303	ライム・チタニヤ	AC. DC	全	凸波面状	中位	軽い(良)
D4310	高セルローズ(ナトリウム)	DC(逆)	全	平たい状	深い	軽い(普通)
D4311	高セルローズ(カリウム)	AC. DC	全	平たい状	深い	軽い(普通)
D4312	高チタニヤ(ナトリウム)	DC. AC	全	凸面さざなみ状	中位	中位(良)
D4313	高チタニヤ(カリウム)	AC. DC	全	平たいか凹さざなみ	浅い	中位(良)
D4315	低水素(ナトリウム)	DC(逆)	全	平たい状	中位	中位(普通)
D4316	低水素(カリウム)	AC. DC	全	平たい状	中位	中位(普通)
D4327	鉄酸化粉鉄	DC(正) AC.	水平隅肉及び下向	平たい状	浅い	重い(普通)
D4330	高酸化鉄	AC. DC	下向のみ	平たいか	浅い	重い(普通)

の引張強さの最低限(kg/mm²)

を示し、D××●●●の●●●は被覆形式と電流の種類を示している。このうち真空用機材の溶接に対して検討すべき要素としては機械的性質および溶着金属中のガス元素とくに O₂ と H₂ である。第6図は主要4種の被覆形式に関しそれらの性質をグラフにて示したものである。ここで明かなように、低水素系は強度、靱性およびガス元素共最もすぐれた値を示し性質は良いが第5表の D4316 に示されるごとく作業性にわずかに劣る処がある。したがって真空用機材の溶接用としては、今後はチタニヤライム型(D4312級)が作業性、機械的性質、ガス元素の点より適用されるものと思われる。第6表はチタニヤ・ライム形の溶着金属の機械的性質およ

第7図 各種被覆溶接棒による溶接部断面肉眼組織
1 低水素系 2 チタニヤ・ライム系 3 イルメイト系

第6表 チタニヤライム型の溶着金属の性質

被覆型	抗張力 kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸 %	衝撃値 (シャルピー) kg-m/cm ²	化学成分例(%)				
					C	Si	Mn	O	H
チタニヤ ライム型 (D4312)	44~55	39~46	20 ~30	13~20	0.08	0.13	0.45	0.006	0.0008

び化学成分の例である。この形式は D4316 型(低水素形)と共に今後の発達が望まれる。第7表は各種形式による溶接部の断面肉眼組織を示している。

チタニヤ・ライム系はまた特殊鋼被覆溶接棒にも適用され真空維持に効果を示すものと思われる。

つぎにオーステナイトステンレス鋼溶接棒で真空用機材の溶接用として用いる材質をあげれば第7表のごとくである。これらはおおむねライム系であるが最も注意を要することは溶着金属の高温割れと微小気孔である。これは個々の溶接棒の品質にも関係するゆえ、あらかじめ試験をする必要がある。真空用機械としては D308(19-9)、D316-L(17-12-Mo型)、16-8-2 Mo型、および D310(25-20)をすすめたい。これらの材質は被覆剤の研究も十分に行われており、溶接金属の欠陥も殆どなく信頼される。第8図は D316 の溶接部断面肉眼組織を示す。

第7表 主たるオーステナイトステンレス鋼アーク溶接棒 (Pは ≤ 0.040 Sは ≤ 0.030)

種 類	化 学 成 分 (%)						引 張 試 験	
	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)
D 308	≤ 0.08	18.0 ~21.0	9.0 ~11.0	—	≤ 2.50	≤ 0.90	≤ 56	≤ 35
D 308 L	≤ 0.04	18.0 ~21.0	9.0 ~12.0	—	≤ 2.50	≤ 0.9	≤ 52	≤ 35
D 316	≤ 0.08	17.0 ~20.0	11.0 ~14.0	2.0 ~2.75	≤ 2.50	≤ 0.90	≤ 56	≤ 30
D 316 L	≤ 0.04	17.0 ~20.0	11.0 ~16.0	2.0 ~2.75	≤ 2.50	≤ 0.90	≤ 52	≤ 35
D 309	≤ 0.15	22.0 ~25.0	12.0 ~14.0	—	≤ 2.50	≤ 0.90	≤ 56	≤ 35
D 310	≤ 0.20	25.0 ~28.0	20.0 ~22.0	—	≤ 2.50	≤ 0.75	≤ 56	≤ 30

4. 溶接施工上の問題点

A 溶接接手の開先

真空用機器の溶接において接手形状および開先加工もゆるがせにできない。開先は機械加工で行い、ガス切断、ゴージングは避けなければならない。また接手部の油脂、錆、汚染は取り除き清浄な状態にする必要があ

第8図 オーステナイトステンレス鋼溶接部肉
眼組織 (D316)

第10図 衝合溶接接手 (30°V~75°V型)

1. 30°V 2. 45°V 3. 60°V 4. 75°V

第9図 標準溶接接手形状

る。第9図は標準開先形状にして、特別の構造物を除いては変形接手はさけるべきである。

第10図は12 mm板(Cr—Mo 鋼)に対するいろいろ角度のV型衝合溶接部の断面肉眼組織を示す。

衝合溶接接手は75°±2.5°V形または40°±2.5°U形が最も適している。

第8表 主な溶接部欠陥の原因と対策

A 溶着鋼割れ

原 因	対 策
1. 継手の剛性大 2. 溶着鋼の欠陥 3. 溶接棒の不完全（被覆中の湿気が多寡および心線不良） 4. 継手のなじみの悪さ 5. 溶接底部の引張りによる角変化	1. 予熱ピーニングの使用、あるいは後退法やブロック溶接法などの溶接順序を用いるか、ビードの断面積を増す 2. 気孔とまきこみ 3. 棒を換えるか、適当な貯蔵と乾燥によって湿気を除く 4. ルートギャップを減らし開先に予盛を行う 5. 裏表が平均した溶接を行うかまたはピーニングを使用する

B 気 孔

原 因	対 策
1. 溶接雰囲気中の過剰な水素または酸素 2. 溶着部の急速な凝固 3. アークの長さ、電流または操作の不適當 4. 溶接棒または継手の湿気多量	1. 棒を換える 2. 溶接熱の増加、または予熱、またはワイーピング 3. 所定範囲内の電圧でやや長いアークを使用するかまたは溶接法を調節する 4. よく乾燥した棒と材料を使用する

C ま き こ み

原 因	対 策
1. 前の盛金のスラッグ除去の不備 2. 継手設計不適當	1. 前のビード表面を清浄する 2. アーク長さまたは操作を適當にする

D 溶着鋼の延性と切欠靱性の悪化

原 因	対 策
1. 冷却速度過大 2. 不適當な溶接棒 3. 母材より炭素や合金元素の溶込み過度	1. 溶接熱の増加、予熱や後熱を行う 2. もっと延性や切欠靱性の優れた棒を使う 3. 電流を下げて溶込みを減らすこと 浅溶込み棒の使用

E 母材熱影響部の延性と切欠靱性の悪化

原 因	対 策
1. 母材の焼入れ性大 2. 母材の歪時効 3. 溶接雰囲気中の水素	1. 溶接熱の増加、予熱や後熱を行うこと 2. 溶接物の応力除去焼なまし 3. 低水素溶接棒の使用

B 深溶込溶接について

Deep. Penetration は真空用機器の溶接には必要である。溶込みを大きくすることはビードの幅を小さくし歪を少なくすると共に真空維持に有効である。

高酸化鉄系被覆溶接棒は水平隅肉溶接の深溶込みに有効で、第11図はその比較を示している。

最近では高セルローズ鉄粉形深溶込溶接棒が現われているが真空維持に関しては十分試験の要がある。

C 溶接部の欠陥について

真空機械の溶接部の欠陥について主な原因とその対策

第9表 平炉鋼と溶着金属のガス含有量

	酸 素 (wt %)	窒 素 (wt %)	水 素 (cc/100g)
溶着金属	0.05～0.18	0.009～0.025	10 ～ 30
平 炉 鋼	0.005～0.015	0.003～0.008	0.3 ～3.0

を表示すれば第8表のごとくである。

ここで真空維持上注目すべきものは微小の気孔、およびキレツである。一般に溶着金属は平炉鋼材と較べると

第11図 Deep Fillet 法による隅肉溶着金属の形状

第9表のごとく酸素、水素、窒素共に多いのでその影響はまぬがれず、しばしば欠陥の原因となっている。

第12図は溶接部における内部微小キレットでいづれも溶着金属の水素および被覆剤の機能不全にもとづくもので、母材は中炭素 Cr・Mo 鋼および高炭素工具鋼であるが、チタニヤ・ライム系低水素形被覆剤の採用により除去することができた。

D 異材溶接について

真空用機器において異種材料の接合は、Brazing あるいは Soldering によることが多いが融接の場合は金属アーク溶接またはイナートガスアーク溶接が採用される。

第12図 溶接部の微細欠陥

1. 高炭素工具鋼 2. 中炭素 Cr-Mo 鋼

筆者は高温高圧用合金鋼の異材溶接についていろいろ研究を行っているが、真空機械のアーク溶接では第10表のごとき溶接条件が考えられる。ここではろう接の際の鑢材も示した。なおイナートガスアーク溶接では融合部に第三の合金層が生ずることがあり必ずしも満足すべき状

第10表 異種金属材料の溶加材一覧

	普通鋼	鑄鉄	真鍮	シリコン ブロンズ	13クロム鋼	18-8 ステンレス	モネル	ニッケル
ニッケル	AG PS. Ni 電極棒 80Ni-20Cr	AG Ni 電極棒	AG PS	AG.	AG. PS.	AG. PS. インコネル 80Ni-20Cr	AG. PS. インコネル Ni 電極棒	AG. インコネル Ni 電極棒
モネル	Ni 電極棒 モネル AG.AB.PS	AB. AG. Ni 電極棒	AG. PS.	AG. SB.	AG. PS.	AG. PS. モネル	AG. モネル Ni 電極棒	
18-8 ステンレス鋼	AG. PS. 18-8 25-12	AB. AG. Ni 電極棒	AG. PS.	AB. AG.	AG. PS. 18-8 25-12(25-20)	AG. PS. 18-8 (Mo) 25-12		
13クロム鋼	AG. PS. 18-8 25-12	AB. AG.	AB. PS.	AG.	CZ. AG. 25-12 25-20			
シリコン ブロンズ	AB. AG. シリコン ブロンズ	AB. AG. SB.	AB. AG. SB.	AB. CZ. AG. SB.				
真鍮	CZ. AG. PS. SB.	AB. CZ. AG. SB.	CZ. AG. SB. PS.					
鑄鉄	CZ. AG. Ni 電極棒	AB. CZ. SB. Ni 電極棒						
普通鋼	CZ AG. SB. PS. 軟鋼電極棒							

溶加材

PS.ハンダ鑢 : Pb 50. Sn. 50 (%)
 CZ.真鍮鑢 : Cu 59. Zn 50.
 SB.シリコンブロンズ : Cu 97. Si 3
 AG.銀鑢 : Ag 45. Cu 15. Zn 16. Cd 24
 AB.アルミニウムブロンズ : Cu 89. Al 10. Fe 1
 80-20. 18-8. 25-20. モネル...被覆電極棒

態とはならない。また融合部では使用条件(温度)にもよ

↓母材 (Cr-Mo) 熔着鋼

第13図 5 Cr-Mo 鋼融合部における微小亀裂
(溶接棒 D 308)

雑誌「VACUUM」のこと (第2回)

1. 日本からの投稿について

日本から投稿したいという御希望が多いので、Pergamon Press に問合せた所、編集長 Kenneison 氏から大要次のような返事が来しました。

1. 日本の「真空」誌に「Vacuum」への投稿のことが出ていて感謝する。
2. 日本からの投稿を歓迎する。
3. 英語の問題については喜んで個人的に援助するから心配しなくてよい。

又次のような投稿規定が同封されて来ました。

1. 出来るだけその国の連絡者を通じて出して欲しい。
2. 論文は出来るだけ簡潔に、アブストラクトは200言以内。
3. 別刷50部無償(それ以上有償)
4. 用語は AVS, BSI の真空用語を用いること。
5. 言葉は英、独、仏、露のうちの一つで、出来るならば他三つのアブストラクトを添えること。出来なければ編集部でつける。
6. タイプによりダブルスペースのこと。ギリシヤ文字は欄外に明示のこと。
7. 引用文献は SIMPSON, J. A., *Rev. Sci. Instrum.*, 15, 119 (1944) 'A Novel Evaporation Source' の如くすること。

尚詳しい原文は真空協会事務局に保管してありますから御申越下さい。

2. Vacuum Vol. 5-8 刊行のこと

昨年 Vol. 5 を一冊にして刊行し、本年 3 月 Vol. 9, No. 1 が刊行されましたが、8 月に Vol. 6-8 をまとめて一冊として刊行されました。内容は

Vol. 6

○イギリスの大学における真空技術教育 F. Yarwood

るが Carbon migration が、しばしば起る。温度が高いほどその傾向を助長する。すなわち Carbon が高合金側に移動し、その Zone が腐食あるいは微小キレツなどの誘因となるのである。第13図は 5 Cr-Mo 鋼の溶接境界部に発生した Microcrack にして長期使用時に破壊の原因となっている。この Carbon migration の防止には高 Ni 合金溶接棒が比較的有効である。

5. 結 び

この文は真空用機器材料の溶接に関し、主としてアーケ溶接法を中心に基本的問題を要約して述べた。真空機器あるいは、配管はその使用条件により区々であるゆえ、溶接施工に際しては、構造、使用条件、環境などを十分検討して溶接条件をきめることが必要である。

○バルブ製造上の真空中の問題 N. W. Robinson

○受信管製造とゲッター作用 P. della Porta

○米国の真空冶金 A. E. Franks

○真空乾燥 E. W. Flosdorf, S. C. Tease

○分子蒸溜 P. Ridgway Watt.

○真空中のアルミニウムの連続蒸溜 L. Holland.

○1956 年の真空文献アブストラクト

Vol. 7~8

○分子移動の考察 G. Burrows.

○低圧低温における気体の熱伝導 R. F. Corruccini

○ガス吸着表面積測定のための全金属製装置

A. S. Foy

○ベリリウムの真空蒸溜 A. F. Martin

○イオンボンバードしたガラス面へのアルミ箔の附着

N. A. Florescu

○アンチモン真空蒸着膜の均一及不均一構造

E. Rvedl

○エレクトロルミネセンス板の製造 G. Siddall

○三つの電極を有する冷陰極アイオニゼイションゲージ G. K. T. Conn 他

○高真空ガスリーク弁 L. Paty

○1957~58年の真空文献アブストラクト

3. Vacuum 誌の予約について

詳しい事は良く分らないのですが Vacuum 誌は変則的な発行をしたので、日本からの予約も大部混乱しているようです。今の所、第9巻からの分を早く予約された方がよろしいようで、Vol. 6-8 の一冊はサービスではないかと判断しています。この件に就いては只今問合せ中ですから次回まで御待ち下さい。

4. 単行本のこと

Pergamon 社から A. S. D. Barret. 編集で "Progress in Vacuum Science and Technology" という単行本が出ています。これは前述「Vacuum」Vol. 6 の原報と全く同じであります。従って「Vacuum」Vol. 6~8 を入手すればこの単行本は必要ないわけです。(中川洋)