高圧高温容器の熔接⁽¹⁾

(昭和 13 年 3 月 23 日 第 324 回講演會(熔接部門講演會)に於て講演)

正 員 齋 藤 哲 夫⁽²⁾

摘 要

汽機汽罐の熱効率を上昇するためには高圧高温蒸気の採用に俟たねばならぬ。而して近來その高圧高温の度は益上昇の傾向にある。100 atm 程度のもも必しも珍しいとは言はれぬ様になつて来た。かくの如き趨勢は汽罐の主体である罐胴をして火炮の砲身に匹敵するものたらしめた。従て従来の銲接罐胴は到底その目的を達することが出来ず鍛造胴によらねばならない。然しこの鍛造胴も製作費の高價な点、宏大なる設備を要する点その他技術的にも幾多の不利を免れない。これに代つて最近電弧熔接の劃期的発達に伴ひ進出して来たのは熔接胴である。本編はこの高圧高温容器としての既製日立水管式汽罐過熱胴を例に採り熔接作業法その他を詳述しようとするものである。

1. 緒 言

高圧高温蒸気の採用は、近時蒸気原動機の効率を増大するための必須条件となり、而も高圧高温の度合は今後益上昇の傾向にあるのは衆知の処である。かくの如き趨勢の趣く所、叙上の如き蒸気を発生すべき汽罐を必要とするが、その主要部なる罐胴は恰も砲身にも匹敵するものとなり、胴板も漸次その厚を増し到底従来の銲接罐胴を以ては技術的に幾多の困難が伴ひ且経済的にも満足し得られぬものとなつて来た。茲に技術的困難の主なるものは胴板が厚くなつたために銲接が困難となり高圧に対し気水密が保たれぬことで、これは理論的に言つても銲接の水密效率はその接手の最大強力の25%と称せられてゐる。又かくの如き銲を打つためには勿論水圧機によらねばならぬが、これは銲接部分の一部が降伏することより所謂苛性脆化なる一種の腐蝕疲勞による亀裂の発生原因となること等である。

以上の事情より継目無し鍛造胴進出の一因となつたものと思はれるが、然し乍らこの鋼塊を鍛鍊して胴を製作する方法はその製造費極めて高價となるのみならずその製作期限も長期に亘るを免れない。即ちその鍛造に要する鋼塊は出来上り胴の2~3倍の重量を要し、加ふるに内外面の機械加工にも相當の費用を要するのである。尙その製造に當つては大規模な設備と多年の経験とを要することは明かである。

更に一方これを材質的に眺むれば鍛造中における数回の加熱は材質を損することになりこれが恢復には相當の高温にて調質を要するが、罐胴の大なる場合等至、内力を生ずることあるために相當の難事とされてゐる。次に又鍛造後内外面を多量に仕上げることは比較的良質部を旋削するため、若し偏析部のある鋼塊を使用する場合は屢々該部を表面に露はすことになり腐蝕に対し相當警戒を要すべきは論を俟たないのである。以上の欠陥を改善すべく次に考慮されたのは矢張り銲接胴と同様圧延状態の良好な鋼板を胴とし、銲接の代りに継目を熔接する所謂熔接罐胴である。

これは継目無鍛造胴と同様の長所を有するものを低廉なる経費で而も短期間を以て製作せんとするもので、近來における熔接法の劃期的進歩と共に俄然各方面より注目されるに至つたのである。歐米数會社では既に続々熔接罐胴を製作してゐる状態で特に現今各国軍備擴張時代に於て鍛造罐胴の製造能力は火炮その他に向けられ、益々熔接罐胴製作に拍車をかけらるゝものと見るべきである。我国に於てもこの点一刺も早く鍛造胴の熔接罐胴への乗りかへが緊要と思はれる。擬て然らば熔接罐胴として如何なる熔接法を採用すべきかと謂ふことになるがこれは代表的のものとしては水ガス熔接、ガス熔接、電弧熔接が挙げられる。然し種々の事情より電弧熔接特に金属電弧熔接に匹敵する他の熔接法を現在の処見出せない。當所に於ては早くよりこの状態を察し鋭意研究中であつたが昭和10年日立水管式汽罐過熱胴最高温度420℃最大圧力30 kg/cm²を最初のこの種作品とし試験用として當工場に据付爾末運轉してゐる。その後この種圧力容器の製品も多いがこの際特に使用経過の判然たる該過熱胴につきその熔接法試験方法並に使用経過等につき御紹介し忌憚なき御批判を乞ふものである。

2. 汽罐熔接作業

(1) 熔接部準備作業並に積層法 本過熱胴材料は JES 22 号 第 4 種鋼板を用ひ焼鈍後冷間に於て水圧板曲機により半円筒狀に曲げ所要の機械加工を施し成形し、更に熔接部の準備作業として開先を採つたが該作業に於て特に注意を要する事は板厚及び使用電極棒の種類により開先形狀を如何に選ぶべきかと言ふことである。即ちその適否は直接熔接作業の難易に関するのみならず熔接部欠陥の成生を左右する一要素とも考へられるからである。例へば第1図 A, B V 型開先に於てその開先角度小に過ぎる場合は、運棒困難に初層に於て母材に與ふる熱量不足するため完全なる熔込を不可能ならしめ、気泡の発生熔滓混入の機會を多くし、反対にその角度過大に失する場合は以上の困難はないが、熔着鋼量が過多となる結果俟に残留内力、歪等を大ならしめその上熔接工費の増大も免れぬことになる。

(1) Arc Welding of High Temperature High Pressure Vessel

(2) Tetsuo Saito, Member, Hitachi Works, Hitachi, Ltd. 日立製作所日立工場。

以上の意味より特に厚塗布棒又は ガス発生式電極棒 を使用する場合、板厚 16 mm 以上に対し U 型又は H 型開先法を採用することは最も無難である。これは熔接鋼量が比較的僅少で且十分なる熔込を保証し得る(第 1 図 A, B)。尚筆者は罐胴径の余り大でないものは相當の厚板 (32 mm 程度) ま

第 1 図 罐胴熔接部準備作業

第 1 表

型	A	B	C
t mm	16~38	22<	16~38
a mm	3~4	3~4	3~4
b mm	2~3	2~3	2~3
α°	10~15	10~15	20~30
γ mm	4<	4<	6<

第 2 図
積層法及び余盛

で作業上又は監督の上よりしても主として外面より熔接出来る U 型開先を推奨したい。第 1 表は各板厚に対する標準の開先寸法を示す。これ等の事情より本過熱鋼も U 型開先を採用し第 1 層における熔接を容易にし且間隙を一定に保持する目的で第 1 図 A の如く裏面に當金を仮熔接した。扱て次に熔接作業に移るのであるが、その開始に先だち開先部を 50~60°C 程度に予熱した。これは初層の急冷による気泡、亀裂を防止し得る有効な手段と考へられるもので、特に第 1 層における亀裂等は次の層における欠陥の誘因となることがあるから注意を要する。

次に積層法は第 2 図の要領により その順序を縦接手の約 500 mm を一區切としステップバック法に依り、各層毎に点検し且壺部は次のビードを接ぐ場合に欠陥を残さぬ様はつり取つた。尚この積層法に於て注意を要する点は電極棒の傾け方である。何故ならばこれは熔込度に重要な関係があるからで、開先部の側壁に対して出来るだけ電極棒を向け而も十分な時間を置かねば冷却速度大なるため熔着鋼中の ガス放出量 鈍り勢ひ該部に気泡量が多くなる。この点作業者に注意を集中させるために、或る層をして何れか一方の壁に十分熔込ましめ次層に於て反対側の壁に十分注意する様交互に身体的位置を換へて作業させた。

尚各層肉盛り後の形状は凹形なるべきである。これは両側壁に対し十分な熔込を示すもので又次層の熔滓混入を防ぐ。

かくして積層を経続し板厚を稍超過する程度に盛上げ次に余盛りを行ふのである。その目的は第 3 図にも明かな様に最上層部の柱状組織を改善するにある。従て余盛部は後これを削り去るべきである。尚その表面はグラインダー仕上げし出来ただけ罐胴の曲度に一致させることを要する。これは該部の異状なる應力集中を避けるためである。

(2) 歪防止及び内力除去 罐胴熔接順序として先づ縦接手を完了し次に端板の熔接に移るが、前者の熔接に於て注意すべきは歪を如何に防止すべきかと言ふ事である。多言を要するまでもなく罐胴眞円度は相當嚴密なるべきで、本過熱鋼熔接の場合この点特に用心し防歪法として第 4 図 A の方法を探つた。即ち、分割し得る円板を約 900 mm の間隔に挿入したのである。その結果眞円度は十分保ち得たが、長手方向に点線の如き歪が表はれた。その後この種容器熔接における経験によれば以上は些か幼稚な方法で、寧ろ同図 B の如く数本のパイプジャッキを準備し、熔接による変形と多小逆な歪を最初作つて置く事により簡単に以上の目的を達し得るのである。又その歪の程度もそう心配する程のものでなく或る程度まで ビーニング法 を採用することにより調整が出来た。

第 3 図

次に熔接中に蓄積された残内力は熔接後焼鈍することにより除去し得るが、熔接作業中残内力に起因する亀裂の発生等板厚の大なる場合屢起る問題なる故矢張り適當な内力除去法を講じ乍ら作業を進めることが肝要である。この目的のため 各層ビーニング を施行した。尚熔接後の焼鈍は前述の如く内力除去の目的で 650°C とし、保温時間は罐板 25 mm につき 1 h 標準とし、これに多少炉内温度と罐胴温度との時間の遅れを見込んで決定し、温度の上昇下降は徐々に行ひ 150°C まで炉中却冷後静置せる空中で放冷した。

3. 熔接部諸性質

彼上の如き高圧高温容器に対し熔接法を採用する以上該部の諸性質の如何が根本的に重要な論を俟たぬ。而してこれに直接関係するものは電極棒及び熔接技術である。尤も近末外国の数會社は自動熔接機を採用してゐるが該熔接方法は未だその主流ではなく尙改善の余地あるものと思はれる。然らば電極棒と熔接技術で何れが主として熔接部諸性質に影響するかを吟味するならば、相當の熟練工に於て施行さるゝ限り恐らく電極棒であらう。即ち電極棒の優劣は直接その熔接部機械的性質を左右すると言つてもよい。

次に例として自家製 H_2 電極棒による熔接部各種性質の一

第4図 罐胴防歪法

端を述べる。

1. 高温試験

高圧高温容器はその運轉時高温に曝され乍ら外力を受ける。かくの如き部分の設計は當然高温下における該部の機械性に基礎を置かねばならない。即ち高温時における諸性質を明確に悉知すべきで特に熔接部簡匍性等研究を要する点と思はれる。

(1) 高温引張及び衝撃試験 第5図の曲線は罐胴鋼板圧延方向、及び熔接鋼板、熔着鋼部より採取した試片を各温度に於て試験せる引張強さ、伸率を示す。何れも G, L 50 mm, 平行部直径 12 mm とせるものである。

これによれば熔着鋼引張強さは 200~300°C に於て他の熔接鋼板及び母材に比し最大を示し、350°C 附近よりこれ等の

第5図 各温度における引張強さ、伸率

第6図 各温度における衝撃値

曲線が集つて来て同一傾向を採る。伸率は 200~300°C 附近に於て母材を除き他の二者は低下し熔着鋼は最低を示し約 15% となる。然し矢張り 400°C 附近より曲線は集り上昇を辿る。

第6図曲線は熔着鋼部及び母材圧延方向並にこれに直角方向より採取せる試片による各温度の衝撃値を示す。常温に於て熔着鋼の特に優秀で、尙高温時に於ても母材に匹敵する成績を示すことは些か意を強くし得る次第である。尙鋼板成分 % C 0.21, Mn 0.63, Si 0.15, P 0.032, S 0.019.

熔着鋼成分 % C 0.13, Mn 0.43, Si tr, P 0.03, S 0.025 である。

(2) 簡匍試験 材料に一定の荷重を加へ時間効果を許すな

第7図 罐胴板の各温度における應力と簡匍速度

第8図 熔着鋼の各温度における應力と簡匍速度

関する限り或は簡匍に対し危惧の要なきものとも考へらる。然しこれは未だ速断は許されぬので融合部に起り勝ちな過熱又は急冷組織部につき深長考慮を要すべきは勿論である。

(3) 熔接部冷熱試験 罐胴はその運轉休止の度に緩慢ではあるが冷熱を繰返される。この点亦熔接部に如何なる影響あるか考慮すべき問題である本試験は実状には即し得ないが、熔接鋼板を 900°C 前後に加熱して水冷し、これを繰返すこと 200 回で各部の引張強さ、伸率並に硬度を測定し、多少で

も繰返し冷熱に対しての動向を知らんとしたものである。

第9図は繰返し冷熱後の試験板の変形を示すもので32mm鋼板が中央熔接部に於て65mmとなり球面を呈してゐる。即ち繰返し冷熱により異状なる應力を受けたのである。その試験結果は第2表の通りである。

以上によれば繰返し冷熱後は多少伸率の低下は免れぬが余り問題となる程のものでない。

2. 常温ピーニング度合の機械性に及ぼす影響

熔接部内力除去及び歪の矯正にピーニングの行はれるのは一般的手段であるがその度合は研究を要する。第10～12図は熔着鋼のピーニング度合に対する機械性その他である。

第9図 冷熱試験板

但し、ピーニングは普通の空気ハンマ（打撃数毎分1800回）により空気圧4kg/cm²とし打撃鉋の打撃面は20mm×6mmとしその送り量を約600mm/minとした。

第10図によれば鉋打の儘では引張強さ降伏点は打撃行程の大なる程増して来るが、650℃焼鈍により著しく低下して大体ピーニングの度合に無関係に一致して来る。伸率は逆に度合の大なる程低下するが矢張り650℃焼鈍により著しく改良され寧ろ相当打撃行程数の多いものがよくなつてゐる。然し750℃以上の焼鈍により曲線は一致して来る。衝撃値は一般に低下する。

第11図 ピーニングの度合と比重(上)

第12図 腐蝕減量(下)

尚第11図は打撃行程数と比重の関係を示すがその行程の多い程比重は増加する。これはさもあるべきで組織が緻密化しピンホールはつぶされ次の層を置く場合に融着し良質のものに変するためと思ふ。A曲線は厚塗布棒(H₃)、B曲線は薄塗布棒による結果である。

第12図は熔接のまゝのものとピーニングを6行程行つたものにつき10%稀硫酸中13h(A曲線)及び15%食塩水中2ヶ月半(B曲線)の腐蝕減量を示す。図中鎖線はピーニングを施行したものでその減量少きは明かである。

以上各試験結果より見れば相當のピーニングはこれを行ふも後の処置さへ誤なければさして問題とする必要を認められない。唯こゝで注意を要するのは熔着鋼の靱性に就てである。それは薄塗布棒使用の場合の如く靱性の少いものゝ過度のピーニングは微細な亀裂が生ずることも考へられるからである。

3. 腐蝕試験

罐胴に対し腐蝕の問題を取上げずしてその寿命を論ずる訳には行かぬ。一時熔接は腐蝕に対して問題にならぬ程抵抗力なしとの理由で容器に対する應用を嫌斥されたが、近末における電極棒の発達はこの不安を一掃した。試験結果第13図に示す。即ちA曲線は熔接のまゝ、B曲線は650℃焼鈍したものゝ減量である。図中、Hは熔接鋼板、H_AはHを650℃焼鈍したもの、Pは母材、P_AはPを焼鈍したもの、DHは熔着鋼、DHAはDHを焼鈍したもの。

第10図 ピーニング度合と機械性

第13図 熔接部腐蝕試験

S. M. E 第一級容器規定により行つた結果は第3表であつ

第2表

試験状態	強度 kg/mm ²	伸率% GL. 50mm	ブリネル硬度			
			母材	熔接部	融合部	表面部
母材	44.8	35.6	131	—	—	131
同上650℃焼鈍	43.1	39.0	119	—	—	121
熔接鋼板	47.1	24.0	136	140	140	136
同上650℃焼鈍	44.2	26.0	134	136	137	137
熔接鋼板 150回冷熱繰返し	48.5	22.5	176	179	179	200
同上650℃焼鈍	48.7	27.3	179	158	163	203
母材150回冷熱	50.8	30.0	170	—	—	190

て前章に述べた各種機械性を遺憾なく裏書してゐる。

試験板は罐胴の縦接手熔接の際にその延長線上に装置して同時に作成し第 14 図の如く $AB \dots H$ の引張、自由曲げ、衝撃、比重、熔着鋼試験片を採取した。

第 15, 16 図は自由曲げ試験及び熔着鋼の引張試験結果であるがその屈曲角度断面収縮状態等より見てその伸率は想像に難く

第 14 図 罐胴製造検査試験板並に試片

第 16 図 自由曲げ試験結果

第 18 図 水管式過熱器の一例

ないと思ふ。以上諸試験結果は第 3 表の通りである。

製造検査として前述各種試験結果により罐胴熔接部の機械性を推定することになるが、これのみによつて完全なる検査法とは言ひ得ない。即ち果して以上の機械性を以て実物もその程度なりと保証すべき何物もない。茲に於て何等かの非破壊試験を必要とするがこれは最近諸般工業上應用範圍を獲得しつゝある X 線検査法に俟つべきであらう。この目的の

昭和 13 年 8 月]

ために普通 200~400 kV の可搬式 X 線装置が賞用される。その精度は頗る鋭敏で例へば 300 kV の同上装置によれば

第 15 図 熔着鋼引張試験結果

板厚 50 mm 程度まで厚の 2% 若しくはそれ以下の欠陥を明確に察知し得るのである (勿論これは X 線写真種板によるべきである)。第 17 図は 300 kV X 線装置により縦接手を撮影したもの、中二、三の例を示す。尚これ等の試験完了後水圧試験を

第 17 図 熔接部 X 線写真

第 3 表 製造検査結果

<i>A</i>	引張強さ kg/mm^2	最小	最大
	母 材	44	45.5
	熔接部	45.8	48.5
<i>B</i>	自由曲げ試験による伸率 %	最小	最大
		48	52
<i>F</i>	比重試験	平均	7.855
<i>G</i>	熔着鋼試験	最小	最大
	引張強さ kg/mm^2	43	45.5
	伸 率 %	34	37
<i>E</i>	シャルビー (メスナゼー型) 衝撃値 kg-m/cm^2		
	ノッチの位置	<i>a</i>	<i>b</i> <i>c</i>
	平均	12	9.5 8.18

60 kg/cm^2 にて施行しその完全なるを証明し得た。第 18 図は出来上り罐胴を示す。

5. 過熱胴使用経過

前述の通り本罐胴は昭和 10 年末に運轉開始したが、使用目的としてタービン、高圧弁等の試験用なるために晝夜連続運轉を行はず、従て一般汽罐の場合と比較出来ぬと思ふが考へ様によつては或る時間宛回数多く使用する結果冷熱回数多き事、試験用汽罐で負荷の変動甚だしく、ためにその圧力は絶えず変動する点等寧ろ過激な負荷と言ひ得るのである。その後年 2 回の定期検査に於て点検を経続して未だが、最近ある機會に多少精密に検査する事を得、内外熔接面をよく滑き腐蝕し、毛狀亀裂の点検をなし、又罐胴両端部の 200°C 程度温度差のある箇處につき X 線廻析法により應力を測定したが何等の欠陥を発見するに至らなかつた。この点既製各種容器につき些か意を強うした次第である。

6. 結 言

以上に於て輓近における汽罐製作上の新傾向なる熔接罐胴に関し例を挙げ熔接作業法、熔接部諸性質、検査方法等に就

て詳述した。

今や高圧高温容器に対する電弧熔接の適用は必須の工作法たらんとしをり、又現今の時勢に鑑みてはその應用は焦眉の急に迫られてゐると思ふが、尙これ等の氣運を促進し助長せしむべき要素として考へられるものは次の如きものと愚考する。即ち今後とも X 線による適確なる検査法の普及と優秀なる熔接部を保証するに足る電極棒の進歩発達、及び我が国情に即した合理的なるこの種容器に対する熔接規定並に取締令等の可及的速かなる出現等に俟つ所が多い。

これらの条項が満足せられるに及んで少くとも高圧高温容器の熔接は大規模なる研究設備と優秀なる熔接技術を有し熔接後の詳細なる諸検査を行ひ得る工場に於て製作される限り何等の危惧をも要せぬのであつて、將來益この方面に特異なる熔接の特徴を発揮し得るものと確信する次第である。

次に本文発表に當り幾多研究に御助力下されたる研究所小野、高瀬氏並に許可されたる研究所長馬場博士に對し深甚なる謝意を表す。(昭和 13 年 5 月 11 日 受付)

リング精紡機の研究⁽¹⁾

(昭和 13 年 5 月 25 日第 327 回講演會(紡織部門講演會)に於て講演)

正員 加 藤 鉦 郎⁽²⁾

摘 要

平和産業に於て、特に本邦に於て最も重要なものは紡織工業である。その内紡績部門に於て最も多額の資本を要し又工費を要するものは精紡工程である。さてこの精紡機は大別して次の 4 種類に分類することが出来る。

1. リング精紡機 2. フライヤー精紡機 3. ミュール精紡機 4. 遠心精紡機

この内最も多数を占めるもの、特に本邦に於ては リング精紡機 である。さればこれを研究し改良を行つたならばその影響する所極めて甚大ならんと考へてこゝにこの研究に着手した次第である。

さて精紡機の構造及び研究の方向に就て考察して見るに近年所謂 ハイドラフト なる題目のもとに顕著な改良が牽伸装置に就て行はれ数年前に比して格段の変化を見るに至つた。又運轉方法、即ち速度制御の問題に關しても種々論議されその進歩著しきものがあるが未だ明確なる結論に到達せず各工場に於て夫々最良と信ずる種々なる方法を採用してゐる。さて リング精紡機 の全体の構造には 1883 年 Charles Danforth に依て發明されたものと殆ど変化を見ないのである。即ち各 スピンドル は所謂 チン・ローラー より 紐又は テープ を介して運轉せられるのである。これに對して著者の試作研究した精紡機の各 スピンドル は夫々小型電動機で運轉する方法を採用したのである。これに附隨して精紡機の構造は相當の変化を見るに至つたことは勿論、牽伸装置の性能にも又運轉方法即ち速度制御の問題にも種々なる変化を来すに至つたのである。

今順次その在来のものと異なる諸点を理論的に説明し畢て實際の運轉成績を述べよう

1. 在来の精紡機と本研究の精紡機

との構造上の差異

在来の精紡機の断面は第 1 図に示す如く 管 V_s に捲れてゐる篠は牽伸装置 $St. W$ に依て牽伸され アイレット ϕ よりトラベラー L を経て木管 S_u に捲取られる。こゝに木管 S_u の回轉は所謂 チン・ローラー H_w より 紐 S を介して運轉

されるのである。この式では紐の張力を一定にすることが困難で従て スピンドル の回轉数を一致することが困難である。現在新式と見做されるものは第 2 図に示す如く チン・ローラー は 1 本で スピンドル 4 本～8 本を 1 組としこれと 1 個の緊張調車及び 1 本の無端 テープ とに依て回轉するのである。この式ではその張力は一定にすることが出来比較的一定の回轉を スピンドル に與へることが出来る。しかし何れにするもその精紡機の巾は 900 mm 以下にすることは困難であるのに本研究の精紡機は 単独電動機で運轉する故 チン・ロ

(1) Study on Spinning Machine. (2) Etsurô KATO, Member, The Tokyo University of Engineering, 東京工業大学。