—— 技 術 論 文 ——

ガ ス 圧 接 法 に 関 す る 研 究 (第 1 報)*

— 軟 鋼 接 合 に 関 す る 豫 備 実 験 —

大 井 一 郎**

Study on the Gas Pressure Welding (Report 1)*

—Preliminary experiment on joining mild steel—

By I. Ōi**

Abstract

This paper reports the results of a preliminary experiment on the gas pressure welding intended for application to the welding of rails or car parts.

The writer used a 25mm ϕ mild steel rod, the cut surface of which was finished by lathe. The results were as follows:

- 1) The max. temperature of the welded part was lower than 1200°C even with two No. 10 blow-pipe nozzles applied; i. e., below its melting point.
- 2) Metallographically, the welded part was perfect with no decarburization, but within the area of about 30mm of the joint, grain growth was recognized.
- 3) The writer considered many welding factors and established the operation standard. Whenever the operation was carried out by this standard, the tensile strength, elongation, Charpy value and fatigue strength of the joint turned out invariably very excellent.

From this experiment, he was convinced that this method would be well applicable to the intended purpose.

ま え が き

ガス圧接法 (Gas Pressure Welding) は1948年頃 から主として米国において急速に発展を見た熔接法の一つである。

本法は Closed Butt 法 (Solid Phase Welding) と Open Butt 法 (Fusion Welding) とに大別できるのであるが、本報では先づ前者のみを取扱うこととする。本法の特色は、(1)接合箇所が熔融温度迄上昇しない。(2)接合部に添加金属を要しない。(3)接合時間が短い。(4)接合部に脱炭層を生じない。(5)接合部の機械的強度が大である。

(6) 装置が同様の目的に使用される抵抗熔接機に比し極めて簡単である。(7) 電力を要しない、従つていかなる場所においても作業が可能である。こと等である。

次に本法により今日迄に接合を報告されている金属は、各種の炭素鋼、Mo- 鋼、不銹鋼、バネ鋼、80Ni-20Cr、モネルメタル、エバージー、銅、軽合金類その他異種金属間の接合等で、接手形式も衝合せ及び重ね接ぎ等各方面に亘つている。また実用としては、鐵筋、管、レールの接合等がその主なるものでその他航空機部品、アルミニウム製容器の製作、ドリルの附刃等に応用されている。

一方我国においては未だあまり研究報告がないようであるが、筆者は本法の特色に着目し、軌条及び車輛部品の接合に応用する目的で実験を行つた。本報では先づ軟鋼接合の予備実験結果のみ報告し、之が実用化試験及び軟鋼以外

* 原稿受付 昭和27年2月

** 正員、鐵道技術研究所 Member, Railway Technical Laboratory.

の各種金属および異種金属間の接合等に関しては第2報以下に記述する予定である。なお詳細は鐵道業務研究資料第9巻5号を参照せられたい。

(1) 実験方法

圧接すべき2本の軟鋼棒(25mm Φ 100mm)をオルゼン萬能試験機により軸方向に、圧接中常に一定の圧縮圧力で押し付け同時に普通の熔接用吹管2本により、外部から接合部がなるべく中心迄一様な温度になるよう加熱する。端面の状況はできる丈一定とする為旋盤仕上げを行い、加熱には酸素アセチレン中性焰の白心の外部を試片に当てるようにした。次に引張試験には圧接後試片を削つて4号試験片とし、接ぎ目がその中央となるようにした。また伸び測定用の標点距離は50mmである。なお本実験はすべて圧接のまゝで後熟は行っていない。写真1は圧接後中心軸を含む面で切断したものである。

写真1 接合部外観

(写真中の点はロックウェル硬度測定(5mm 間隔)の、又接合部附近の黒点(温度測定の夫々跡)

(2) 圧接面附近の温度及び時間—縮み曲線

接合機構に関する A.B. Kinzel,⁽¹⁾ L. Fine⁽²⁾ 等の論文によると、接合に対し最も重要な因子は圧接面の温度である。また接合部温度が熔融点に達しない、すなわち比較的低温で接合が可能であることが本法の最大の特色である。

第1図 圧接中の時間経過に対する中心部温度及び縮みとの関係

また Kinzel によれば、一様な加熱と加圧条件のもとにおいては、時間の経過に対する、中心部の温度ならびに縮み量との間に非常に密接な関連性がある。この曲線を各種の圧接条件のもとに求めておけば、実際作業に当つてこの予め求めてある曲線と、その場合の時間—圧縮量曲線とを比較することにより圧接面の温度を推定できるのである。

以上の理由により、本実験を進めるに当り、使用する吹管火口の大きさと圧接面の温度及び圧縮量の時間に対する

2a 接ぎ目附近 $\times 200$

2b $\times 200$

2c $\times 200$

写真2 各部の組織

変化曲線を求めた。先づ温度測定位置は圧接面から約 2 mm 内側迄試片の中心軸に穴をあけて熱電対を挿入した。押し付け圧力は 1500kg(3.06kg/mm²)とし、吹管の火口は 2~10番と変化して時間の経過と圧接部の温度、圧縮量等を同時に測定した。その結果は第1図の如くである。これによると10番火口を用いた場合においても中心部附近の温度は 1200°C 以下で熔融していないことがわかる。

(3) 顕微鏡組織

圧接後各部の組織を検討するため、圧接全圧力 1500kg 火口 5番 2本圧縮量 10mm 所要時間 2分 35秒の条件で圧接したものにつき接合部附近の組織を示すと写真2の如くである。写真 2a は接合場所附近を示すもので、圧接後は接合面を横切つての結晶成長が完全に接合跡は全然認められない。たゞし母材に比しこの附近の結晶粒は粗大化している。次に 2b は接目から約 22mm (圧接条件により幾分変化する) の位置における結晶粒微細化の部分である。2c は母材組織を示す。

次に上記の熱影響を受けて組織の変化した全範囲につき圧接条件を変化して検討した結果、他の条件が一定なら圧縮量の増加と共にやゝこの範囲も廣くなるが、圧縮量を一定とし火口を小さくして加熱時間を長くした場合、この熱影響範囲には大差ないことがわかった。

(4) 硬度分布

圧接後の硬度分布の一例を示すと第2図の如くである。これによると、接合部附近の硬度は所定量の圧縮に要する所要時間の長い程すなわちこの附近の温度の低い程高い値を示しているのであつて、これは結晶粒の比較的細かいことに原因する。なお火口 5番を使用した場合接ぎ目から約 22mm の位置に硬度の山を生じているが、これは丁度写真 2b に相当する位置である。

また詳細は省略するが、高炭素鋼の接合部 10mm の範囲を測微硬度計により細かく測定した結果、脱炭は全然認められなかつた。

第2図 硬度分布

(5) 圧接諸条件と静的機械強度との関係

接合強度の試験法としては、L. Fine²⁾ の如く接合部を打撃で破断しその破面により判定する方法もあるが、筆者は G. W. Motherwell⁽³⁾, E. R. Proctor⁽⁴⁾ 等の行つた如く引張試験の破面観察、伸び、断面収縮率等によることとした。

(i) 加熱火口の大きさの影響

同一火口を使用しても火口と被圧接物との間隔、酸素およびアセチレンガスの調整圧力等により加熱条件はかなり変化する。従つて本実験は結局、主として火口の大きさを變えて中心部の温度を変化し、その場合の接合強度を調べたことになる。実験結果は第1表の通りである。

第1表 加熱火口の大きさと接合強度との関係

火口番号	降伏点	抗張力	伸び	所要時間	接合部切断	母材部切断
1	27.4	40.9	12.7	18'45"	3	0
2	27.3	42.0	18.5	21'13"	3	0
3	24.4	38.6	23.2	7'39"	1	
	23.3	40.4	34.0	11'25"		2
5	27.2	41.4	23.4	6'34"	2	
	27.0	42.0	33.6	6'03"		1
7	33.0	47.2	32.2	2'30"	0	2
10	31.9	43.1	31.1	2'06"		4
	32.9	42.7	29.8	1'50"	1	

圧接圧力 1500kg 圧縮量 10mm

火口 1-5: 第1回 (母材(A)強度 Y.P. 29.0kg/mm² T.S. 41.3 伸び 37.1%)

〃 7-10: 第2回 (母材(B) 〃 〃 27.5 〃 43.6 〃 38.0)

同表中例へば「接合部切断 3」の行の値は、試片 3 個の平均値を示したものであるが、殊に火口の小さい場合圧接所要時間が不均一となり、従つて同表の個々の数値に対してはあまり意味がない。しかし一般的傾向として火口を大きくして中心部の温度を上昇せしむれば接合強度は増大することがうかがへる。

(ii) 圧接圧力の影響

圧接圧力の効果に関しては A. B. Kinzel⁽¹⁾, L. Fine⁽²⁾ 等の報告があり、これらによると、加熱部分に塑性変形を起させて圧接面厚子間の距離を近付けるのがその主なるものであ

る。また各種の金属に対する圧接圧力としては、L. Adam⁵⁾, K. H. Koopman⁶⁾, J. L. Zambrow, R. D. Williams⁷⁾等の報告があり、これらの値は大体において1.8~2.5kg/mm²の範囲内にある様である。

筆者は圧接圧力の影響を調べるため、まづ第1回には圧縮量を一定として圧力のみ変化し、第2回には後述の理由から、圧接所要時間を一定とし圧力のみ変化(従つて圧縮量も変化する)としてその接合強度を求めた。実験結果の平均値を第2表に示す。

第2表 圧接圧力と接合強度との関係

圧力	圧縮量	所要時間	降伏点	抗張力	伸び	切断場所並びに個数
			kg	kg		
600kg	10mm	14'26"	25.1mm ²	40.7mm ²	21.6	接2 母1 } 第一回
900	〃	7'46"	25.0	39.7	24.2	接2 母1 }
1200	〃	6'55"	26.6	39.9	31.7	接0 母2 }
900	2.0	2'50"	34.0	45.8	31.9	接1 母2 } 第二回
1200	8.7	〃	32.1	42.4	35.8	接0 母2 }
1500	11.0	〃	32.4	42.2	34.2	接1 母1 }
2000	17.5	〃	34.0	40.1	34.7	接0 母2 }

接：接合部切断 母：母材部切断

第1回の材料は第1番材料Aを又第2回はBを使用

同表によると、圧接圧力の増加した場合、第1回目のものは降伏点、抗張力には大差ないが伸びが圧力増加と共に増している。これは圧力増加と共に接合が良好となり母材切断が増したためである。また第2回の実験によると圧力増加により伸びはあまり影響を受けないが抗張力が幾分低下している。これは圧接面間の接合はいづれも良好であるが、圧縮量の増大により接合部附近の結晶粒粗大化が増々著しくなるためであらう。しかしとも角、圧接圧力としては1200kg(2.45kg/mm²)以上あれば充分と云える。

(iii) 圧縮量の影響

圧縮量を増せば接合面間の空隙をつぶし両面の原子間隔

第3図 圧縮量と接合強度との関係

を近付け接合を容易ならしむると共に、圧接面間にもし酸化物が生成してもこれを寸断しその結果接合強度を増すことが考えられる。しかし一方あまり圧縮量を増すために高温度または長時間加熱すると、接合部附近の結晶が粗大となりかえつて接手強度を幾分低下さすおそれがある。

筆者は5番火口2本1500kgの圧力で圧縮量0~10mm**に亘り実験した結果第3図の如くであつた。これによると圧縮量のいかにかゝらず抗張力は切断場所に関係なく大凡一定降伏点は圧縮量の増加と共にやゝ低下、伸びは圧縮量6mm附近にわずかに最大値を示している。

(iv) 加熱焔の影響

加熱焔の性質と接手強度との関係を調べるため、5番火口2本1500kgの圧力10mmの圧縮量とし、加熱焔の調整にはまづ中性焔にした後、還元焔の場合は焔の白色の部分が中性焔白心の長さの3倍に、また酸化焔は白心の長さが初めの1/2になるよう調節した。実験値の平均を示すと第3表の如くである。

第3表 加熱焔の性質による接手強度

加熱焔	降伏点	抗張力	伸び	所要時間	切断箇所
還元焔	27.3	39.9	29.5	4'26"	接1 母2
酸化焔	28.1	40.3	28.1	4'58"	接1 母2

これによると、接合強度に及ぼす加熱焔の影響はあまり認められない。従つてアセチレンガス中の不純物が接合強度に及ぼす害は圧接の場合はないと云える。たゞし面の仕上げの不良な場合は考慮する必要があるかも知れない。

(v) 脱酸劑挿入の効果

圧接中に接合面間に酸化物が生成、介在することを防止するため、普通鍛接の際使用されるフラックスあるいは硼砂のみ等をそれぞれ接合前に圧接面間に挟み、今迄と同じ要領で接合を行つた。その結果少くとも面の仕上げ充分な場合にはむしろ有害であつた。

(6) 圧接所要時間と静的機械強度との関係

今試みに(5)(i)~(iii)のうち5番火口以下のものを使用した場合の個々の実験値(本報記載の平均値ではない)につき圧接所要時間と機械的強度との関係のみに注目して図示すると第4図の如くなつた。本図は圧接圧力、圧縮量

** 第1図でわかる如く加熱の初期においては試片は約1mm程度膨脹する。従つて圧縮量0mmとは実質的には1mmの圧縮である。

等がそれぞれ異なるため幾分各点が散在しているが、それにもかゝらず、かなりの関連性が認められるのであつて、このことは圧接面の温度の接合強度に及ぼす影響が今回の実験におけるその他の圧接因子のそれよりいかに大きいを示している。

第 4 図 圧接所要時間と接合強度との関係

こゝで同図中の伸びに関する曲線につき少く説明を加えよう。まづ母材切断の場合、所要時間の短縮と共に曲線がやや低下するのは、加熱及び圧縮により結晶粒が粗大化したことによる。次に接合部切断曲線が圧接所要時間の長くなると共にかなり急激に低下するのは、圧接面の温度低下により、顕微鏡的には接合個所に欠陥が認められないがやはり接合が充分完全でなく、抗張力等には現はれない程度の極めて小さな内部欠陥のある場合接合部から切断し且つ伸びが出ないのではないかと考えているがこの点なほ研究を要する。また伸びが最高となる点から左側（短時間側）の急激なる曲線の低下は、あまり加熱時間が短か過ぎて圧接面の温度上昇が未だ不充分であつたことによる。

なお本曲線は 5 番火口以下のものゝみにつき求めたのであるが、火口を更に大きくすればある程度まで最適の圧接時間は短時間側に移動可能であらう。

また第 2 表第 2 回目の実験で圧接時間を 2 分 50 秒と一定にとつたのは、圧接面の温度を成可く一定として行つたものである。

(7) 衝撃試験

以上で接合部の静的強度の検討が終つたので、次に圧縮量を 7~16mm とし 5 番火口 2 本圧接圧力 1500kg で接合しその中心部からシャルピー試験片をとり、もとの接合線上にノッチを入れた* 実験結果は第 5 図の如くである。

これによると圧縮量増加と共に結晶粒が粗大となり曲線は低下している。次に圧縮量および圧縮圧力を一定とし、火口の大きさのみを変化して接合部附近の結晶粒の大きさを調べた結果、加熱火口の大きい程結晶粒は大きくなつていた。

第 5 図 圧縮量と衝撃値との関係

以上の実験により、あまり火口の大きいものを使用した場合の圧縮量を増大することは不適当であつて、今回実験の条件においては 5 番火口 2 本、2 分 50 秒位で 7~10mm 程度圧接するのが大体適当のようである。

(8) 疲労強度

5 番火口 2 本、圧接圧力 1500kg 圧縮量 9.2~11.5mm 所要時間 2 分 50 秒で接合したものにつき小野式回転曲げ疲労試験 ($N=10^7$) を行つた。その結果母材の疲労限 27.0kg/mm²、接合したもの 27.5kg/mm² で破断個所はいづれも母材部分であつた。

(9) 総合結果の一例

以上各種の実験結果にもとづき一例として次の如き接合強度が得られた。

○使用材 SS41, 25mm ϕ 圧接面旋盤仕上げ

成分 0.14C 0.27Si 0.47Mn 0.013P 0.02S

○圧接条件 5 番火口 2 本 圧接圧力 1500kg 圧接時間 2 分 50 秒 圧縮量約 10mm

○機械強度

試験品	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 び % g.l.=50	疲労限 kg/mm ²	衝撃値 kg-m cm ²
母 材	36.15	50.3	35.1	27.0	—
圧 接 材	35.09	50.9	31.9	27.5	11.3

(10) 結 論

本実験で明らかとなつた主なる点を挙げると次の如くである。

(1) 圧接面附近の温度は 10 番火口を用いても 1200°C 以下で熔融点には達していない。

* 腐蝕するゴーストライン等により肉眼で接ぎ目が分かる。勿論顕微鏡による組織上からは接ぎ目はわからない。

- (2) 接合後は完全にもとの境界面を横切つて結晶が成長し接ぎ目は全然認められない。また脱炭層も生成しない。
- (3) 接合部附近の硬度はやゝ低下する。しかし加熱火口を小さくするとこの部分の硬度は幾分上昇の傾向にある。
- (4) 圧接諸条件のうち次の事項を検討した。その結果
- (イ) 加熱火口には 5 番火口以上のもの 2 本を用うること。
- (ロ) 圧接圧力は大体 1200kg (2.45 kg/mm²) 以上用うること。
- (ハ) 圧縮量は少くとも 5mm 以上とすること。
- (ニ) 加熱焔の性質は接合強度に無関係である。
- (ホ) 圧接面に脱酸剤を挿入することは有害である。
- (5) 接合強度に最も大きな影響をもつものは圧接面の温度であり、従つて第 4 図および上記 (4) の結果を綜合して一応の作業基準を定めるなら、5 番火口 2 本を使用する場合は圧接圧力を 1500kg_s (約 3.0kg/mm²) とし 2 分 50 秒程度で 10mm 位圧縮を完了する様作業すれば常に最良の接合強度が得られる。
- (6) 衝撃値は今回の実験では母材強度の 86.2% 迄得ており、また疲労強度は母材と同一と見做しうる。

終りに本実験実施に当り種々有益なる御指導を賜つた鐵道技術研究所溶接研究室中根金作氏ならびに終始熱心に協

力された当研究室山岸忠吉、今井定雄兩君に厚く感謝の意を表する。

文 献

- (1) A. B. Kinzel, "Adam Lecture—Solid Phase Welding", *Welding J.*, Vol. 23, No. 12 (1944), p.1124~1143.
- (2) L. Fine, C. H. Maak, A. R. Ozanich, "Fundamental Affecting the Bond in Pressure Welds," *Ibid.*, (1946) June.
- (3) G. W. Motherwell, A. L. Rustary, S. M. Jablonski, C. J. Burch, "Pressure Welding Propeller Barrel", *Ibid.*, (1947) Nov. p.994~1001.
- (4) E. R. Proctor, "The Application of the Pressure Weld to the Manufacture of Aircraft Landing Gear", *Ibid.*, (1945) Nov.
- (5) L. Adam, "Progress in Rail Pressure Welding," *Ibid.*, Vol. 29, No. 4 (1950), p.283~289.
- (6) K. H. Koopman, "Oxyacetylene Pressure Welding of Some Alloy Steels and Non-Ferrous Alloys", *Ibid.*, (1946), Nov. p.1069~1076.
- (7) J. L. Zambrow, R. D. Williams, "Pressure Welding of Alloy Steel Tubing", *Ibid.*, (1946) Oct. p.485s~596s.

点熔接における熔接結果の不揃について*

浮 田 勇** 橋 本 達 哉** 小 林 忠**

Shear Strength Consistency of Spot Welds in S. D. C. H.*

By I. Ukita,** T. Hashimoto,** T. Kobayashi**

Abstract

In this experiment, the factors affecting consistency of shear strength have been investigated. It has been discovered that it is necessary in order to attain a high degree of consistency that welding conditions be kept under control.

There must be certain optimum welding conditions for securing consistency, so to find such factors affecting consistency some experiments have been performed.

The following conclusions were drawn:

- 1) The shape of characteristic curve of consistency is "V"-type against the several welding conditions, the lowest depression representing the best condition.
- 2) To obtain good consistency, surface preparation is important; the chemical method is superior

* 原稿受付 昭和27年 2 月 (昭和27年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員, 京都大学 Member, Kyoto University.