— 技 術 論 文 —

冷 間 圧 接 の 研 究*

手塚 敬三** 岩 本 実*** 飯 田 弘***

On the Study of Cold Pressure Welding*

By K. Tetsuka,** M. Iwamoto,*** H. Iida***

Abstract

As regards cold pressure welding, the writers carried out tests with the following results:

Figures of merit (Al to Al, 35%; Cu to Cu, 22%) were larger than F. C. Kelley's data reported in the Welding Journal, August, 1951; dissimilar metal cold pressure welding (Al to Cu, Brass to Ag, Steel to Al) gave satisfactory bonds and cold pressure welding with inserted alloys (Al to Cu to Al, Cu to Al to Cu, Steel to Al to Steel) was also successful.

The writers developed the study on this problem to such an extent that application of this process has been widened from non-ferrous to ferrous alloys (steel to steel; figure of merit, 8%) which hitherto admitted of no hot pressure welding.

This unique process of steel cold pressure welding can be applied manually or by hand tools, only the simplest equipments and no special training being required for it.

§ I 緒 言

圧接法という言葉は金属を熔融点以下で接合せしめる方法を総称するのであるが、我々は特に温度範囲を常温に限定し、従って金属を加熱せずに圧力のみを加えて接合を行った。これがいわゆる冷間圧接法である。

この加工法の要点とするところは接合面の酸化被膜およびその他の挟雑物を除去し、パンチおよびダイの装置によって加圧し材料に塑性変形を与え兩金属の接合線を消失せしめ、金属組織的結合を行わしめるものである。

1 表面の処理

接合面は完全に汚染を除去する必要がある、若し表面に

いささかなりとも酸化被膜が存在するときは完全な接合は望まれない。酸化被膜の除去方法としていろいろ考えられるであろうが、第1図の如くワイヤブラシによる以外はどれも満足すべき結果は得られない。これはたとえばカッター、ヤスリ加工の場

合には切屑が表面にさきりこれによる阻害が考えられ、パフ、グラインダーの如き研磨加工の場合には研磨粉が表面に残り接合を妨げるものと考えられる。なおワイヤブラシの使用条件は直径10吋、周速約600米/秒である。

2 工具及装置

工具は接合部の両側に金属が流れ易くすることができ圧力が比較的巾の狭い範囲に加わるように設計すべきである。この点を考慮して本実験ではリング状のパンチ（外径9φ、内径6φ）を使用し、材質は高炭素鋼を撰定した。この結果金属の流れを容易にすると共に飯の巾方向の変形を小さくすることに成功した。接合装置は第2図の写真に示すもので特性値と圧接荷重とを直ちに読みとることができるようにダイアルゲージとアムスラー50噸万能試験機とを併用した。

第2図 圧接試験装置

3 圧接荷重と特性値

* 原稿受付 昭和27年10月

** 正員、愛知県工業指導所 Member, Technological Institute of Aichi Prefecture.

*** 愛知県工業指導所 Technological Institute of Aichi Prefecture.

接合が必要にして充分に行われるためには一定の鋳厚の減少を要し、被接合金属の材質によって次に定義される適正な圧接特性値がある。

$$\text{特性値 (Fig. of Merit)} = \frac{\text{圧接後の鋳厚}}{\text{素材厚の総和}} \times 100$$

この特性値によって圧接可能の限界が規定される。なおまた特性値と圧接荷重との間には指数函数的関係が存在し、特性値が減少するに従い、圧接荷重は急激に増加し、この傾向は硬質材の場合甚だしい。

§ II アルミニウムの圧接について

実験に供した材料は Alcan 規格の 1S-0, 3S-0 に該当するもので化学成分は第 1 表の如くである。

表 1 供試材化学成分表

合金名	Al	Cu	Fe	Mg	Si	Zn	Mn	Cr	他元素
1S-0	99.5%								0.05
3S-0	残部	0.2	0.7	—	0.6	0.1	1.0~1.5	—	0.05

表 3 図 圧接特性値と圧接荷重

上述の装置で被接合鋳の鋳抑のない場合は接合部周辺の鋳を圧接軸方向に非常に変形せしめるため、ゴムによる鋳抑えを使用した。この試みは幾分圧接荷重を大ならしめるが試片の変形量を最小限に止めることができ

表 4 図 アルミニウム接合部断面写真

表 5 図 特性値と破断力

た。第 3 図は圧接特性値と圧接荷重との関係を示すものである。

次に接合の特性値であるが、1S-0 の場合特性値 30~40、3S-0

の場合 27~32 と接合線は消失し組織的結合状態となった。第 4 図はこの接合部の写真である。かゝる接合状況における強度を測定するために先づ特性値の変化による単剪断力を求めた結果第 5 図を得た。すなわち 1S-0 では 35~40 の特性値で最大剪断力 124kg を示し、これより特性値が減少しても、増加しても力は低下する。これを 3S-0 について見ると特性値がやゝ小で 30 で最大剪断力 182kg を得る。これは前者に比し抗張力、硬度が高く塑性変形を起し難い理由によるものであろう。

次に各実験値に対する不偏分散 u を求め、信頼度を 95 % とすると

$$u \times t / \sqrt{n+1} = I$$

ここに n : 自由度

t : 自由度 n の場合の t -分布表の値

I : 真の剪断力

上式により真の剪断力の値が求められ、この値と特性値と

表 6 図 特性値と破断力の真の値との関係

の間の関係を第6図に示す。この図より特性値が35附近で値が最も安定し、これにより特性値が増加しても減少しても相当な範囲に値がばらつき、不安定となることが判る。

次に接合部の引張力(剝離力)を求めるために Braguman Attachment を使用した。すなわち第7図はこれを示すものでAは本体、Bは破断後の試片、Cは試片である。

第7図 Braguman test attachment

最大引張力55 kg(1S-0)を発揮する特性値は単剪断の場合と同様35~37で、特性値の変化に対する引張力の変化の傾向もほぼ単剪断の場合と同じである。特性値と真の引張力の関係は上述の第6図の鎖線を以て示す如く、剪断の場合に比してかなり安定した結果となっているが、これは単剪断試験が曲げと剪断の混合した複雑な力が

第8図 複剪断試験片断面

作用するのに反し、引張の場合は接合軸の方向に比較的確な力が作用すること起因しているであろう。しかして安定特性値は35~40である。

次に複剪断強度を求めるため三枚の鋸を重ね合せ一度に圧接した。第8図はその圧接試験片の断面を示す。

特性値と強度との関係は第9図で特性値35~37の場合に最大剪断力 210kg を得、この場合試片は総て鋸で破断する結果となった。

上述の試片は総て鋸抑えを使用したのであるが鋸の多少の变形は避け得られない。従って圧接後両面「フラットパンチ」で修正押し(荷重 1,000kg)をしてその強度を測定した結果その二者は全く同じ強度を保有した。

更に片面を平な面で受け他の面から「リングパンチ」で圧接した片面フラットの試験片(第10図参照)を試験した結果も强度的に大差はなく、多少強さを増加する傾向さへある。

第9図の曲線A, B は簡単な疲労試験の結果を示すもので、Aは二点押しのまゝであり、Bは圧接後圧接軸に直角方向に0~30kgの引張力を繰返し103回与へ、しかる後剪断試験を行ったものである。この程度の疲労試験では圧接のまゝよりも稍強い傾向が出ている。曲線Cは一点押し複剪断強度を示す。

第9図 二点押し単剪断及複剪断試験

リング状パンチによる接手強度を測定した結果を第11図に示している。圧接面積—接手効率曲線は三点圧接では一定値に達し、これ以上その数を増加しても強度の上昇は大して期待出来ず、従って接手効率の増加も望めない。なおこの場合試片の破断状況を見ると一点及び二点では点接

第10図 片面フラット、三点押し及四点押し試験片の外観
合部で破断し、三点及四点では鋸が破断する結果となっている。(第10図参照)

§ III 銅及銅とアルミニウムの 圧接について

パンチ リング状 $D_0=9.0mm$ $D_1=6.0mm$
材料 1S-0 (抗張力 $8kg/mm^2$) 板厚 $1mm$
圧接特性値 35%

第11図 リング状パンチ圧接による接手効率

第 12 図 Cu—Cu 圧接

第 13 図 Cu—Al 圧接

第 14 図 Cu—Al—Cu 圧接

冷間圧接法は Al—Al, Cu—Cu の如く同種金属のみならず Cu—Al の如く異種金属間の接合も可能である。次に前述の Al—Al の圧接と同様な方法で行った Cu—Cu, Cu—Al, Cu—Al—Cu の圧接試験の結果について述べる。

第 12 図は Cu—Cu の圧接試験の結果を示すもので供試材料は Cu 99.5%, 板厚 1 mm, ロール加工したものを 400°C で 30 分間焼鈍して使用し, パンチはリング状 ($D_o = 9\text{mm}$, $D_i = 6\text{mm}$) で Al の場合と同様である。図に示す如く 20~25% の特性値で最大破断力は 205 kg である。

第 13 図は Al—Cu の圧接試験の結果を示すもので, これに使用した材料は Cu については前述のものと同様, Al は 2S— $\frac{1}{2}$ H と 2S—0 の二種類について行った。この際において Cu と Al では同一圧接荷重に対して塑性変形量が異なるため, 予備実験において最もよい成績を示したパンチの組合せ, すなわち Cu 側に $9\phi \times 7.5\phi$, Al 側に $9\phi \times 6\phi$ のリング状パンチを使用した。

試験の結果 Cu—Al (2S— $\frac{1}{2}$ H) においては特性値 35% 付近で最大破断力 146 kg を示し, Braguman Test の結果も同様な傾向を示している。

Cu—Al (2S—0) の場合には最大破断力は 110 kg に低下するが最大破断力を示す特性値は 40% 附近に上昇する。

第 14 図は Cu—Al—Cu の圧接試験の結果で, この実験は前に行った Cu—Cu の試験片の間に両面をワイヤブラシで磨いた Al (2S—0) の小片を挟入して一度に圧接を行ったものである。この場合特性値 25~30% において最大破断力を示し, しかも Cu—Cu よりも大きな強度が得られた。

第 15 図に Cu—Cu, Cu—Al, Cu—Al—Cu 及び Al—Cu—Al の各試験片の接合部断面の拡大写真ならびに顕微鏡写真を示す。顕微鏡写真の倍率は 520 倍で撮影したものである。

§ IV 接着の傾向について

次にアルミニウムと銅の各種の組合せによって圧接試験を行い, 接着の傾向を調査してみた。

前述の如く特性値と圧接荷重との間には指数函数的関係が存在するから両者を両対数グラフ上にプロットし, その方向係数を求めた。その結果方向係数は Al—Al, Al—Al—Al, Al—Cu, Al—Cu—Al, Cu—Al—Cu, Cu—Cu, Cu—Cu—Cu の順序 (以下 Al—Cu 系列と称する) によって増大し, Al—Al に比して Cu—Cu の場合は約 3 倍となる。第 2 表は方向係数の値を示す。特性値—引張強度; 特性値—剪断強度の場合の傾向を求めると

- i) 特性値が増加するとき, 引張強度の方向係数は Al—Cu 系列に従って減少する傾向あり, 剪断強度はほぼ Al—Cu 系列に従って増加する。

Cu—Cu

Cu—Al

Cu—Al—Cu

Al—Cu—Al

ホ 15 図 圧 接 断 面 写 真

ii) 特性値が減少するとき、引張強度の方向係数は Al—Cu 系列に従って増加する傾向にあるが、剪断強度のそれよりもかなり絶対値が小である。

以上要するに Al—Cu 系列に従い、適性特性値の限界が小となる、換言すれば所定の強度を確保するには Al 系よりも Cu 系に厳密な特性値を考えなければならないわけである。第16, 17図はこれを示す。

§ V その他の金属の圧接について

先づ同種金属で特筆すべきことは常温圧接では不可能とされていた鋼の圧接ができたことである。

第18図は鋼の接合部の断面拡大写真並に検鏡組織である。特性値は8でリング状パンチ ($D_o=9\phi$, $D_i=7\phi$) 使用による圧接荷重は 5,500kg である。

また Ni 18% を含有する洋白の圧接は特性値12, 加圧

表2 特性値—強度曲線方向係数表

	特性値が大になるとき		特性値が小になるとき		圧接荷重—特性値 方向係数
	引張	剪断	引張	剪断	
Al—Al	—	-0.4	0.1	0.4	-0.3
Al—Al—Al	—	-0.4	0.1	0.3	-0.5
Al—Cu	-0.3	-1.2	0.4	0.5	-0.5
Al—Cu—Al	-0.7	-0.5	—	0.5	-0.5
Cu—Al—Cu	-1.3	-1.7	—	0.8	-0.6
Cu—Cu	—	-2.0	0.5	1.7	-1.5
Cu—Cu—Cu	—	-1.8	0.5	1.5	—

荷重は、4,000kg でこの場合の接合部の断面写真を第19図に示す。

次に異種金属の圧接で電気接点として用いられる銀と真鍮の場合は特性値が10で圧接荷重は、4,500kg である。その検査写真を第20図に示す。

なお異種金属圧接の応用として冷間鋸圧接（当所にてか

表16図 圧接傾向線図（其の1）
剪断試験

表16図 圧接傾向線図（其の2）
引張試験

く称す）といふ、同種金属間に異種金属を介在せしめ圧接する方法で前述の Cu—Al—Cu の如く Cu—Cu の圧接に較べ特性値を大ならしめ、しかも強度の向上をはかることができる。第21図は鋼板の圧接にアルミニウムを鑢として利用した場合の圧接試験結果であって、また第22図はその際の接合部の断面拡大写真及検査組織である。

§VI 結 言

前述の事項を総合すると

i) 冷間圧接法はアルミニウム及銅に限らず非常に廣

表17図 接着傾向曲線図

表3 表 当所の実験結果と Kelley's Data との比較

圧接金属	特 性 値	
	Kelley's data	当所の実験
Al—Al	30	35~40
1S—0		35~40
2S—0		30
3S—0		
Cu—Cu	11	22
Al—Cu	16	30~40

チ 18 図 Steel-Steel

チ 19 図 洋白—洋白 (18% Ni)

チ 20 図 銀—真鍮

チ 21 図 St-Al-St 圧接

チ 22 図 Steel-Al-Steel

い範囲に利用できる。

- ii) 銅, アルミニウムの適性特性値は Mr. Kelley の data (The Welding Journal, Aug. 1951) より大である。(その比較を第 3 表に示す) 従って変形量及圧接荷重は小さくてよいことになる。
- iii) 異種金属の圧接が可能でその組合せを適当にすれば変形量を小さくし, かつ構成材料を低廉にしかも有効に使用することができる。
- iv) 今まで不可能視されていた鋼の圧接についてこの分野における将来の利用可能性が期待できるようになった。

以上で冷間圧接法について当所で行ったさうやかな実験を報告しましたが接合機構の理論的研究は勿論のこと, その他の点においても不明の点が多々あります。これらについては引続き実験中であり追って発表する予定であります。

なお最後に本実験に対する名古屋大学々生佐藤君の協力に対して感謝の意を表します。