摩擦圧接方式に関する研究 (第 2 報)*

—板と丸棒との摩擦圧接について—

平 博仁**, 金谷 文善**, 上村 隆夫***, 塩見 敦史***, 天野 一雄**

Study on the Type of Friction Welding (Report 2)*

—Friction Welding of Stud to Plate—

by Hirohito Hira****, Fumiyoshi Kanatani**, Takao Uemura***,
Atsushi Shiomi*** and Kazuo Amano**

In the previous report, difference between brake type and inertia type friction welding was discussed, then effect of various parameters on burn-off behaviours and macrostructures of the same diameter bar friction welds was studied. Deceleration condition of rotation was shown very effective parameter.

In this report, friction welding parameters and joint design for the welding of stud to plate joint was considered.

Experimental results were as follows;

- 1) Friction welding of stud to plate joint was relatively difficult than welding of same diameter bar joint, because some characteristic defects caused by the shape effect was appeared. So, the parameters of higher pressure and longer deceleration time should be used for the stud to plate joint than those for same diameter bar joint.
- 2) When same welding condition was used for both stud to plate and same diameter bar joint, the former showed rather convex shape heat affected zone.
- 3) Heat affected zone of stud to plate joint became narrower and concave shape with increase of pressure and deceleration time similarly the case of same diameter bar joint.
- 4) Movement of friction surface from the plate face to stud was occurred when low pressure was used for stud to plate joint. And moved zone was difficult to be removed only by using high upsetting pressure.
- 5) Protrusion should be prepared when friction pressure was restricted to the low level.

1. 緒 言

摩擦圧接にはブレーキ方式とイナーシャ方式との2つの異なった接合方式があるが、その相互比較はほとんど行われておらず日本および英国ではブレーキ方式、アメリカ合衆国ではイナーシャ方式が独立に適用分野を拡大してきている。その結果、アメリカ合衆国を中心に発展したジェットエンジン産業ではイナーシャ方式しか継手の実績がなく、ブレーキ方式が主流の日本国内でその分野への適用を検討するには、両方式を比較することが必要となった。両方式の最も大きな違いは回転減速状態にあると考えられるので、前報¹⁾ではまず同径丸棒の継手

に対し、通常のブレーキ方式よりも回転を急停止させたものからイナーシャ方式相当のゆっくりした回転減速状態まで変化させる各種の条件で摩擦圧接し、その摩擦寄り挙動および継手接合結果への影響を調べた。その結果、回転減速時間が長いほど接合面積が広がること等大きな影響が観察された。

ところで実際の適用対象継手は、Fig. 1 に示すように大きなリングに丸棒を接合するものであり、板と丸棒との継手に単純化できるものである。そこで本報では、この板と丸棒とを摩擦圧接する場合の摩擦寄り挙動および継手接合結果にお

Fig. 1 Joint design to be applied.

*原稿受付 昭和57年3月1日

**正 員 川崎重工業(株) Member, Kawasaki Heavy Industries Ltd.

*** 川崎重工業(株) Kawasaki Heavy Industries Ltd.

よばず摩擦圧接パラメータの影響について, 特に回転減速状態の影響を中心に調べることにした。そのさい板と丸棒とを直接接合する場合以外に, 板側に丸棒と同径の突出部を設けて接合する場合についても調べた。

2. 実験方法

供試材は前報と同様の耐熱鋼 FV 607 である。圧接継手としては, 丸棒を直径 13 mm, 板を直径 50 mm で板厚 20 mm とした。板と丸棒とを摩擦圧接する場合の継手形状としては, Fig. 2 の (A) に示すように板に直接丸棒を接合するもの, (B) のように板側に突出部を設けてそこへ丸棒を接合するもの, (C) に示すように板側へ穴を設けてそこへ丸棒を押し込むものなどがある。(A) の場合は継手の前加工費は安価だが, 摩擦圧接時の継手位置設定状態の確認, 後のバリ取り加工に難点がある。(B) の場合, 突出長 (L) の長さにもよるが前加工費が高いのに対し, 位置設定状態の確認やバリ取り加工は簡単である。(C) は前加工, 継手位置設定, バリ取り加工ともむづかしいが, 得られる接合状態が (A), (B) とは全然異なっているので, 異なる機械的性質を持つことが期待された。しかし予備実験の結果, (C) は前加工の寸法精度や部材両者の相対的な軸のずれが継手の再現性に対して本対象部品に関しては許容できない影響を与えることがわかったので, (A) と (B) の継手のみに対して実験を行った。

Fig. 2 Experimental joint design to be considered.

用いた摩擦圧接機は前報と同様のブレーキ式装置の改造機である。回転停止のために油圧ブレーキが用いられているので, そのブレーキ制動油圧 (P_b) を制御することによりブレーキ制動開始から回転停止までの時間, 回転減速時間 (t_d) を変化させることができる。そして, ブレーキ方式の圧接のように, 摩擦圧力 (P_1), アプセット圧力 (P_2), アプセット圧力付加との時間のずれ, タイムラグ (Δt), それに前述のブレーキ制動油圧 (P_b) をパラメータとして摩擦圧接を行い, それらの摩擦寄り挙動および熱影響部形状, 接合部の欠陥の有無への影響を調べた。そのうち P_1 と P_2 が一致していて, しかも $P_b = 0 \text{ kgf/cm}^2$, すなわち回転停止時にブレーキ制動がない場合をイナーシャ方式相当の摩擦圧接が行われているものと考

え, この軸方向圧力 P ($P=P_1=P_2$) を加圧力と呼ぶことにした。なお減速前の回転数 (N) は 2400 rpm とした。

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に示した継手形状のうち, (B) の L が長いものは, 前報の実験の同径丸棒継手の結果に漸近するものと考えられる。ここではまず, (A) の板と丸棒とを直接接合する場合について 3.1 で検討し, 3.2 で板側に突出部を設けた場合について検討する。また, 3.3 では接合部に存在する欠陥例を示す。

3.1 板と丸棒との直接接合

3.1.1 $P_1=P_2$ の場合の摩擦寄り挙動および継手熱影響部形状におよぼす回転減速状態の影響

Fig. 3 は ($P=5 \text{ kgf/mm}^2$, $t=4 \text{ sec}$) と ($P=15 \text{ kgf/mm}^2$, $t=1 \text{ sec}$) で, 一般のブレーキ式装置より回転が急速に減速する $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ の場合と, イナーシャ式装置の減速状況に対応する $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の同径丸棒継手および板と丸棒との継手における摩擦寄り挙動の比較結果であり, 細線が同径継手, 太線が板と棒との継手の結果である。図の上部には回転数の変化も示している。今後板と丸棒との継手を簡単にスタッド継手と呼ぶことにする。図より $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の回転減速時間は, 両加圧力ともスタッド継手の方が同径継手の場合より少し短くなる。特に 5 kgf/mm^2 では減速時間が同径継手の約 4/5 となる。しかし $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の減速状態は継手形状に依存しない。

摩擦寄り代は, 一定回転中はどの継手もある時間経過後一定の摩擦寄り速度で増加するが, スタッド継手の寄り速度は同径継手に比べてかなり小さい。そして回転減速開始とともに, 両者の継手とも寄り速度が増加しはじめる。回転減速中の寄り代増加量は, スタッド継手は同

Fig. 3 Comparison of burn-off behaviours between same diameter bar welding and stud to plate welding.

径継手の約 1/2 である。

前報の同径継手の摩擦圧接において、一定加圧力で摩擦圧接した場合の全寄り代は、一定回転中の寄り代と回転減速中の寄り代とに独立に区分でき、それらが各々摩擦時間および回転減速時間と直接関係にあることに示したが、スタッド継手の場合にも同様な関係を得ることができた。Fig. 4 は、摩擦時間による寄り代増分 ($\partial U_T / \partial t$) と回転減速時間による寄り代増分 ($\partial U_T / \partial t_d$) の両者と加圧力との関係を示す。前報の同径継手の結果も、図中に細線で示している。P=5 kgf/mm² の $\partial U_T / \partial t$ を除き、スタッド継手の両者の値は同径継手の約 1/2 であり、加圧力の増加とともに増加している。またスタッド継手の $\partial U_T / \partial t_d$ は同径継手の場合と同様に $\partial U_T / \partial t$ の 2 倍以上の値を示しており、回転減速中は実際に付加されている加圧力の 2 倍以上の圧力があたかも付加されているような状況になるとおもわれる。なお P=5 kgf/mm² でスタッド継手の $\partial U_T / \partial t$ が同径継手の値の 1/2 以上となったが、沖田等²⁾ のオーステナイト鋼 SUS 304 を用いた研究ではこのことと摩擦面の移動の発生が対応しており、後述するように本材料でも P=5 kgf/mm² でスタッド継手を圧接すると摩擦面の移動が起こっていた。

次に継手の断面マクロ観察を行った。Fig. 5 は Fig. 3 の各圧接条件で接合した同径継手およびスタッド継手の断面マクロ組織を比較したものである。接合部には、摩擦圧接時の熱サイクルによって完全に白化したマルテンサイト組織の領域と、薄く白化した焼戻しが進行した領域

Fig. 4 Relation between pressure and $\partial U_T / \partial t$, $\partial U_T / \partial t_d$ of stud to plate welding.

Fig. 5 Comparison of joint results between same diameter bar joint and stud to plate joint at same friction welding conditions.

域に区分できる熱影響部が存在する。全体にスタッド継手の熱影響部は、同径継手に比べて外周部の幅が狭く回転中心部の幅が広い。P=5 kgf/mm² の条件のスタッド継手では摩擦面が丸棒側に移動しており、特に P_b=60 kgf/cm² の場合にはその外周部に欠陥が存在する。P_b=0 kgf/cm² では外周部の欠陥は失くなるが、バリが大きくなる程度で熱影響部形状はほとんど変化していない。P=15 kgf/mm² の場合のスタッド継手は P=5 kgf/mm² の継手よりも熱影響部が狭く、接合面は板側へ凸の曲面となっていて摩擦面の移動はみられない。P=15 kgf/mm² の継手では P=5 kgf/mm² の継手にはない板側からのバリが形成されている。そして P_b=60 kgf/cm² の継手に比べて P_b=0 kgf/mm² の継手のほうが板側からのバリが多く形成され、接合面の曲率が大きくなっている。また、熱影響部も回転中心部の白化領域の幅が小さくなる。なお P_b=60 kgf/cm² の継手に現われた割れについては 3.3 で後述する。

Fig. 6 は摩擦時間とスタッド継手熱影響部形状との関連を調べたものである。(A) の P=5 kgf/mm² の結果より、摩擦時間を16秒まで増加させても摩擦面の移動距離はあまり変化しないが移動部は外周方向へ少しづつ広がっていること、および丸棒側からのバリの増加が著しいことがわかる。また熱影響部の幅は、摩擦時間の増加とともに少し増加するが、板側にはほとんど広がらない。P_b=0 kgf/cm² とすることにより接合面外周部の欠陥は除去される。しかしこのように摩擦面が移動した継手は、その部分がマルテンサイト変態により硬化しているので、外力により簡単に破断した。

(B) は P=15 kgf/mm² の継手である。同径継手を同圧力で接合した場合には熱影響部形状は摩擦時間にほとん

(A) $P = 5$ kgf/mm² (B) $P = 15$ kgf/mm²**Fig. 6** Effect of friction time on the macrostructure of friction welds.

ど依存していなかった¹⁾。スタッド継手においても、2秒と4秒の継手はバリの大きさはかなり違うけれども熱影響部形状および接合面の曲率はほぼ同様である。なお $P_b = 60$ kgf/cm² の継手よりも $P_b = 0$ kgf/cm² の継手のほうがバリの谷の部分の継手外周側へ押しやられている。

これらの熱影響部のマルテンサイト化した硬化領域の幅を測定した。測定位置は Fig. 7 に示すように回転中心部および丸棒側外周より 1 mm 深さの位置であり、これらの測定値を各々 W_A および W_S と呼ぶ。主に幅の測定はマクロ組織観察によったが、判別しにくい場合にはミクロ硬さ分布測定を利用した。そのさい硬化領域はビッカース硬さ約 500 以上となる領域とした。

Fig. 8 は、2種類の回転減速状態における熱影響部の幅と加圧力との関係を同径継手およびスタッド継手について調べたものである。スタッド継手の場合でも $P_b = 60$ kgf/cm² の場合の t_d は、加圧力によらず約 0.1 sec であった。また $P_b = 0$ kgf/cm² の場合 $P = 10$ kgf/mm²

Fig. 7 Schematic diagram of HAZ and dimension to be measured.

W_s ; Width of HAZ at joint surface.
 W_A ; Width of HAZ at rotating axis.

Fig. 8 Effect of the pressure on the width of heat affected zone.

で t_d は約 0.9 sec, $P = 20$ kgf/mm² で約 0.55 sec であり、前報の同径継手と比べて低加圧力では t_d は少し短くなるが高加圧力ではあまり変化していなかった。

同径継手の $P_b = 60$ kgf/cm² の結果では、 $P = 5$ kgf/mm² では W_A , W_S とほぼ同一の大きな値であるが加圧力増加とともに両者とも小さくなる。特に W_A の減少が著しく熱影響部が凹レンズ形になることを示している。 $P_b = 0$ kgf/cm² の結果は $P_b = 60$ kgf/cm² に比べて W_A の減少がより著しいので凹レンズ形熱影響部となる傾向がより強くなる。それに対しスタッド継手では、同一圧接条件の同径継手と比較すると W_A が大きく W_S が小さい。 $P_b = 60$ kgf/cm² の 5 kgf/mm² の結果は W_A が W_S よりも大きく熱影響部は凸レンズ形となる。 P の増加とともに両者の値は減少するが、特に W_A の減少量

が大きいのので $P=20 \text{ kgf/mm}^2$ で両者の値がほぼ等しくなる。 $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ では $P=5 \text{ kgf/mm}^2$ で両者の値がほぼ等しい。加圧力増加に伴ない $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ の場合と同様な変化を示し $P=20 \text{ kgf/mm}^2$ では W_S が W_A の 2 倍以上大きな凹レンズ形の熱影響部となっている。

Fig. 9 は $P=5, 15 \text{ kgf/mm}^2$ で摩擦圧接した場合の、回転減速時間と熱影響部の幅との関係を示すものである。 $P=15 \text{ kgf/mm}^2$ の場合、回転が急停止でも同径継手では W_S に比べて W_A の小さい凹レンズ形の熱影響部であり、回転減速時間が長くなるに従い特に W_A が小さくなるのでその傾向がより強くなる。それに対しスタッド継手では回転が急停止した場合には W_S よりも W_A の大きな凸レンズ形の熱影響部をしていたのが、回転減速時間が長くなるに従い W_S が増加および W_A が減少して熱影響部が凹レンズ形になることがわかる。 $P=5 \text{ kgf/mm}^2$ の場合でも、同様に回転減速時間が長くなるに従い凹レンズ形の熱影響部となる傾向がみられた。

このように、パラメータでは高加圧力、長回転減速時間、継手形状ではスタッド継手よりも同径継手のほうが熱影響部が狭い凹レンズ形の形状となることがわかった。第 1 報でも述べたように凹レンズ形の熱影響部形状のほうが接合面外周部欠陥を部材径より外周へ押し出しやすいものと考えられるので、凸レンズ形になりやすい傾向を持つスタッド継手の接合は同径継手に比べて難し

Fig. 9 Effect of the deceleration time on the width of heat affected zone.

く、より高加圧力を用いる必要があることを示している。なおスタッド継手が凸レンズ形の熱影響部となりやすいのは、回転中心部では板側の高温領域が押し出されにくいので熱が蓄積し、外周部では板側外周部への熱伝導によって熱が奪われやすいためであろう。

3.1.2 P_1 と P_2 が異なる場合の摩擦圧接

Fig. 10 は左端の欄に示す条件で摩擦後、回転減速開

(A) $P=60 \text{ kgf/cm}^2$

(B) $P=0 \text{ kgf/cm}^2$

Fig. 10 Effect of the combination of P_1 and P_2 on the macrostructure of friction welds.

始と同時に上欄に示すアプセット圧力を付加した場合の断面マクロ組織観察結果であり, (A) が $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$, (B) が $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合である. なお $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の各圧接条件における t_d は, 最初の摩擦段階からアプセット圧力を一定付加させた条件の t_d とほぼ同様であった. 前報の同径継手の結果では, $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ の場合熱影響部形状は P_1 および P_2 の両者に依りし P_1 の増加する下段および P_2 の増加する右欄へ向かって熱影響部が狭くなること, それに対し $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合には P_2 が同一ならば P_1 にかかわらずほぼ同一の熱影響部になることがわかった. スタッド継手においても, 摩擦面の移動が起こった $P_1=5 \text{ kgf/mm}^2$ の場合を除いて, $P_1=10 \text{ kgf/mm}^2$ 以上ではほぼ同様の傾向を示している. そして特に $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ において, P_2 が大きいほど摩擦面の曲率が大きくなり, 板側からのバリが増加すること, また板側からのバリの根元の板とバリとの角度が大きくなることがわかる.

摩擦面が移動した $P_1=5 \text{ kgf/mm}^2$ の結果では, $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ の場合はアプセット圧力を増加させても熱影響部は狭くなるだけで摩擦面の移動部は押し出されていず, $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ でも $P_2=20 \text{ kgf/mm}^2$ としてようやく移動部が継手から消失している. よって摩擦面の移動部が存在しない継手を得ようとすれば, 摩擦圧力段階から高圧力を用いたほうがよい.

前報の同径継手の結果で P_1 と P_2 とが異なる場合には, 圧力変化時期と回転減速開始時期とのタイムラグ (Δt) が接合結果に影響をおよぼす場合があることを示した. そこでスタッド継手でもタイムラグの影響を調べることにしたが, 特に低摩擦圧力を用いて摩擦面移動が起こった場合には高アプセット圧力付加後も一定回転を

しばらく維持することにより移動部を消失させる可能性がある. そこで $P_1=5 \text{ kgf/mm}^2$, $P_2=15 \text{ kgf/mm}^2$ の組合せの条件について接合結果へおよぼすタイムラグの影響を調べた. Fig. 11 がその結果であり, Δt が負のものが回転減速開始前にアプセット圧力を付加したもので, その逆が回転減速後アプセット圧力を付加したものである. $P_b=60 \text{ kgf/cm}^2$ としたものは $\Delta t=-0.4 \text{ sec}$ としても熱影響部は狭くはなるが摩擦面の移動部は残存している. それに対して $P_b=0 \text{ kgf/cm}^2$ ならば $\Delta t=-0.2 \text{ sec}$ で移動部は消失する.

以上のことから, スタッド継手の摩擦圧接の際, 低摩擦圧力を用いたことにより摩擦面の移動が起こってしまうと, その移動部を消失させるには大きなアプセット圧力を用いて Δt を負とし, それに加えて回転減速時間を長くしなければならぬことがわかる.

3.2 突出部を有する場合のスタッド継手の摩擦圧接

Fig. 12 は板側に丸棒の径と同一径の突出部を設けたスタッド継手を, 図中の条件で圧接した場合のマクロ組織の比較結果である. 同径継手および板と丸棒とを直接接合した継手も, 各々 $L=\infty \text{ mm}$, $L=0 \text{ mm}$ として示している. $P=5 \text{ kgf/mm}^2$ の場合, 突出部の長さ $L=2 \text{ mm}$ でも $L=0 \text{ mm}$ と同様に摩擦面が丸棒側に移動している. しかし $L=4 \text{ mm}$ では, バリの形状は非対称ではあるが摩擦面の移動は起こっていない. $P=15 \text{ kgf/mm}^2$ と加圧力を大きくすると $L=0$, および 2 mm でも摩擦面の移動は起こっていない. すなわち突出部を有するスタッド継手の摩擦圧接においても, 突出部長さを充分大きくするかまた高加圧力を用なければ摩擦面の移動が起こりうることを示している.

Fig. 11 Effect of the time-lag between pressure change and start of deceleration on the macrostructure of friction welds.

Fig. 12 Effect of the protrusion length on the macrostructure of welds.

L が小さくなるほど接合面の曲率が大きくなり、丸棒側からのバリと突出部側からのバリが非対称になってゆくが、これは沖田等³⁾の結果と一致している。また、熱影響部の幅も変化している。Fig. 13 は ($P=15 \text{ kgf/mm}^2$, $t=1 \text{ sec}$) の条件で圧接した継手の、突出長 L と熱影響部の幅との関係を調べたものである。図より、 L の増加に伴ない外周部の幅 W_s は増加し回転中心部の幅 W_A は減少する傾向を示す。

Fig. 13 Effect of the protrusion length on the width of heat affected zone.

ここで W_s/W_A という熱影響部の形状を評価する比を考える。 W_s/W_A が大きくなると凹レンズ形の傾向が強くなることを意味するものである。Fig. 8 より板と棒との直接接合では P を大きくするほど W_s/W_A が大きくなる。また Fig. 13 より同一条件で圧接すると突出長 L を増加させることによって W_s/W_A を大きくすることができる。すなわち外周部に欠陥が発生しにくい凹レンズ形の熱影響部の継手を得ようとするれば、加圧力に余裕があれば板と棒との直接接合は可能だが、装置能力上低摩擦圧力しか用いることができないならば突出部を設

けて接合する必要があることになる。

3.3 スタッド摩擦圧接部の欠陥について

スタッド継手を摩擦圧接する場合には継手形状に特有の各種の欠陥が発生することがある。その代表例を Fig. 14 に示す。

左欄は移動した摩擦面の外周部に存在する欠陥を示すものである。これは低摩擦圧力を用いた場合に非常に発生しやすい。一般にこの欠陥が存在する場合には、圧接時に高温軟化域に相当する熱影響部も凸レンズ形になっているので、アプセット圧力を高くしてもこの欠陥を継手外周部に押し出しにくい。また本材料のように焼入硬化しやすいものでは前述のように摩擦面の移動部全体が硬化してそこが破断しやすいので、高摩擦圧力を用いて摩擦面の移動が起こらないようにする必要がある。

中央欄は板側のバリの根元から圧接部硬化領域に割れが伝播したものである。ただしこれも、図中の条件より低加圧力、短摩擦時間のほうが発生しやすい。このようにスタッド継手では、接合面のバリの谷の部分よりもむしろ板側のバリの根元部が割れ発生起点となる鋭い切欠を形成しており、接合部の急冷による硬化と重なって割れ発生を招くことがあるようである。この欠陥は摩擦時間を長くして継手への入熱を増加させると、冷却速度が遅くなり発生しにくくなる。また高加圧力、長回転減速時間とすると Fig. 10 (B) で前述したようにバリの根元の角度が大きくなり、しかも伝播する熱影響部も狭く曲面となることから割れの発生および伝播が起こらなくなる。

右欄では外周部に中央欄と同様な欠陥があるが、それに加えて回転中心部の接合面がはく離したような状態となっている。この欠陥は図中の条件よりも高加圧力または長摩擦時間では発生しないことを確認している。もちろんこれと同一条件で同径継手を圧接しても、このような欠陥は発生しない。現在、この欠陥は回転中心部において摩擦速度がゼロになることおよび板側の回転中心部の高温軟化域が押し出されにくいことに関連していると推定しており、今後発生機構について検討してゆくつもりである。

以上のようにスタッド継手ではその形状に特有の欠陥が発生するが、それらは一定時間高加圧力で摩擦後イナーシャ式的に回転減速する方法によって発生を防止できる。また突出部を設けることも一つの手段である。

4. 結 言

板と丸棒とを接合する場合の摩擦圧接方法、すなわち摩擦圧接パラメータおよび継手形状の選択について、熱影響部形状および継手の欠陥発生状況から検討した。

Fig. 14 Example of defects in stud to plate friction welds.

得られた結果は以下のとおりである。

1) 板と丸棒とを直接接合する場合には, 同径継手の摩擦圧接に比べて各種の欠陥が発生しやすいので, 同径継手に比べて高加圧力, 長い回転減速時間の圧接条件を用いることが望ましい。

2) 板と丸棒との継手および同径継手を同一条件で摩擦圧接した場合, 前者の熱影響部は後者に比べて外周部の幅が狭く回転中心部の幅が広い形状となる。

3) 板と丸棒との継手においても, 同径継手と同様に高加圧力ほどまた回転減速時間が長いほど熱影響部が凹レンズ形になる傾向が強まる。

4) 低摩擦圧力で板と丸棒とを接合すると, 摩擦面が移動し欠陥を生じやすくなる。移動部分は単に高アプセット圧力付加のみでは消滅せず, それに加えてタイムラグを負したり, 長い回転減速時間を用いることによ

って摩擦面移動の生じていない良好な継手を得ることができる。

5) 板と丸棒との継手に対し, 装置能力上低摩擦圧力しか用いることができないならば, 板側に突出部を設けることが望ましい。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 有益な御助言をいただいた兵庫県立工業試験場, 沖田耕三氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 平, 山田, 上村, 塩見, 天野: 摩擦圧接方式に関する研究 (第1報), 本誌, Vol. 51-2 (1982), 126-134
- 2) 沖田, 有年, 平: 摩擦面状態に及ぼす継手形状および摩擦圧接パラメータの影響, 本会全国大会概要, 第29集 (1981), No. 103
- 3) 沖田, 有年, 山田, 平: 異径丸棒の摩擦圧接に関する研究 (第2報), 本誌, Vol. 50-8 (1981), 764-770
- 4) 沖田: 私信

MIG パルスアーク溶接におけるアーク長のサンプル値制御*

大嶋 健司**, 安陪 稔**, 窪田 武文***

Sampled-Data Control of Arc Length in MIG Pulsed Arc Welding*

by Kenji Ohshima**, Minoru Abe** and Takefumi Kubota***

A computer controlled system is proposed for improving the stability of the pulsed arc in a constant wire feed rate system. The pulsed current transfer is achieved by pulsing the current between the globular and spray transfer current ranges. In the pulse durations the current conduction occurs over the whole metal drop surface through the plasma, and promotes the magnetic force field conducive to the spray transfer. When the pulse durations are long, a few droplets may successively be detached from the electrode. Drops should be ejected one by one from the electrode tip at a regular frequency synchronizing with the frequency of current pulses, in order to improve the stability of the pulsed current transfer with a sufficiently short arc. For this purpose, the saw tooth current is used in the pulse peak current range.

The voltage drop at the electrode extension is dependent upon Ohm's law and will be greater with long electrode extensions. Hence, even if the voltage at the point of current pickup is kept constant, the arc voltage or arc length varies with a variation in the current and electrode extension. A sampled-data control system computes the arc length in process of the arc welding by using the current and voltage at the point of current pickup, and determines the current magnitude on each cycle of pulsating current to keep the arc length constant.

The behavior of the arc welding system is described by difference equations. The stability of the arc is discussed by studying the solution in the transient state.

Experiments are also carried out in the sampled-data control system which contains transistors and integrated circuits, and the metal transfer and arc phenomena are observed by means of the high speed motion pictures. The validity of the theoretical results is confirmed by the experimental investigations.

*原稿受付 昭和57年3月1日

**正 員 京都大学, Member, Kyoto University

***正 員 姫路工業大学, Member, Himeji Institute of Technology

1. 緒 言

アーク溶接の自動化の基礎研究としてアーク長および