摩擦圧接の研究 (第1報)*

—摩擦圧接継手の性質におよぼすアプセット時期の効果—

蓮井 淳** 福島 貞夫**

Studies on Friction Welding (Report 1)*

—Effects of upsetting time on properties of friction welds—

By Atsushi Hasui** and Sadao Fukushima**

Abstract

It is generally said that the sudden stop of spindle and the instantaneous upsetting are both the important processes in the final phase of friction welding. However, there is no paper on upsetting time.

Thereupon, welding was carried out to investigate the effects of upsetting time on strength of friction welded joint. In this experiment, 0.45 and 0.25 per cent carbon steel rods were used as specimens. The welding conditions were kept constant, except that the upsetting time relating to stop time of spindle was varied. Effects of upsetting time on properties of joints were judged by roller bend test.

The results are as follows;

- (1) In order to get a satisfactorily welded joint, it is desirable to so adjust as to start the upsetting process just before the spindle is stopped.
- (2) Even under improper welding condition in previous experiments, in which upsetting time was not so controlled, a satisfactorily welded joint was obtained by adjusting the upsetting time to the above-mentioned state.

1. 緒 言

摩擦圧接過程においては、一般に、回転運動の急停止およびそれに引きつぐアプセット圧力の瞬間的な付加が重要な因子であると云われている。前者は、圧接部が回転の減速中に捩り破壊することの防止を、また、後者はアプセット過程をできるだけ高温の状態で行なわせることを意味するものである。

筆者らは、すでに圧接継手の強さはアプセット圧力を付加することによって生ずる圧縮量 (アプセット量 L_u) のみによって、ほぼ一義的に整理できることを示したり、しかし、この報告における実験では、回転数、加圧力、加熱時間の3因子のみを変化させており、アプセット圧力の付加時期の効果については考察を加えていない。

本報告は、 L_u の効果を考察しつつ、各圧接条件において回転停止に対するアプセットの開始時期が圧接継手にどのような効果をおよぼすかについて検討を進めたものである。

2. 実験方法

2.1 圧接サイクル

本実験における圧接サイクルは Fig. 1 に示すとおりである。Fig. 1 における記号はつぎのとおりである。

- N : 回転数 (r.p.m.)
- P_h : 加熱時圧力 (kg/mm²)
- P_u : アプセット圧力 (kg/mm²)
- T_B : 回転を停止させるに要する時間 (sec)
- T_s : 加熱時圧力を規定圧力まで上昇させるに要する時間 (スロープ時間) (sec)
- T_h : 加熱時間 (sec)
- T_{DP} : 回転停止よりアプセット圧力を付加し始めるまでの時間 (アプセット圧力遅延時間) (sec)
- T_{DL} : 回転停止より母材がアプセットされ始めるまで

Fig. 1 Friction welding cycle

* 原稿受付 昭和41年12月16日

** 正 員 金属材料技術研究所 Member, National Research Institute for Metals

の時間(アプセット遅延時間)(sec)

T_{us} : アプセット圧力の立上る時間(アプセットスロープ時間)(sec)

T_u : アプセット圧力の保持時間(sec)

L : 全アプセット量(mm)

L_h : 加熱時圧縮量(mm)

L_u : アプセット量(mm)

本実験においては、回転数、加熱時間、アプセット圧力遅延時間を変化させ、加圧力 P_h および P_u は従来用いた条件をとり、ブレーキ時間 T_B 、アプセットスロープ時間は使用した圧接機本来の状態とし、さらにスロープ時間、アプセット圧力の保持時間は常に一定に保った。

2.2 回転停止時期、加圧力、アプセット量の測定

回転停止時期の観測法はつぎのとおりである。Fig. 2

Fig. 2 Schema of device for detecting the stop time of spindle

に示すごとく、円周に等分して12箇の10mm幅のスリットを刻んだキャップを回転側の軸に固定し、このキャップの外側に直流によって点じた電球を、内側に受光用のフォトランズスタを配置する。軸の回転により、前述のスリットが光束を切断する時にパルスが発生する。このパルスの発生のとまる時が回転停止時期である。

加圧力の変化は、加圧用のピストン軸に貼付けたストレンゲージの加圧時における歪の変化により、またアプセット量は、ベッドに固定された片持梁の加圧シリンダの移動によって生ずるたわみの変化(ストレンゲージで受感)を利用して測定した。これら3現象を0.01 secの刻時信号とともにオシログラムに同時に記録した。回転停止時の記録の一例をPhoto. 1に示す。このオシログラムで、 N は回転数を示すパルス、 P は加圧力の変化、 L はアプセット量の変化を示すもので、定常回転時の状態はこの写真の左側へさらに時間をさかのぼって続いているわけである。前述の T_{DP} は、このオシログラムにおいて、回転の停止点を示す線①とアプセット圧力の立上る点を示す線②との間の時間、また、 T_{DL} は線①とアプセット圧力の付加で母材が急速にアプセット

Photo. 1 An example of oscillogram at upsetting phase

され始める点を示す線③との間の時間である。アプセット圧力の付加時期は、タイマーにより加熱時間の終了時を基準として前後に調整した。

データの整理にあたっては、圧接機構より考えて、母材がアプセットされることが重要であるという観点からアプセット遅延時間 T_{DL} を採用した。

2.3 供試材料および試験片の寸法

本実験に使用した鋼材は、機械構造用炭素鋼第8種(S45C)の調質棒鋼(直径17.5mm)、同第4種(S25C)の熱延棒鋼(直径19.0mm)、および同第1種(S10C)の熱延棒鋼(直径32.0mm)の3種類である。とくにS10Cの丸棒は開先面より10mmを直径25mmに加工して使用した。また、開先面は切断ののち旋削仕上げしておく。さらに、引張試験片および曲げ試験片は、いづれもバリを除く程度の旋削により所定の形状に加工し、さらに曲げ試験片には研磨仕上げを行なった。

3. 実験結果と考察

3.1 アプセット遅延時間とアプセット量の関係

じゅうらいの実験結果にもとづいて、本実験に使用した圧接機本来のアプセット時期によって圧接を行なった場合に、良好な性質をもつ継手の得られた圧接条件、および良好な結果の得られなかった圧接条件から、回転数 N を3510および1770 r.p.m., 加圧力を $P_h=4 \text{ kg/mm}^2$, $P_u=10 \text{ kg/mm}^2$ に選び、加熱時間およびアプセット時期を種々変化させて圧接を行なった。この場合に、継手性能を左右すると考えられるアプセット量 L_u の変化を求めると、Fig. 3, 4, 5 のようになる。Fig. 3および4は、S45C材を、Fig. 5はS25C材を圧接した場合の結果である。いづれの場合も、 T_{DL} が短くなると L_u は増加する傾向を示す。また、同一加圧力においては回転数の高い方が、また、加熱時間の長い方がより大なる L_u を得ることができる。なお、 T_{DL} が負になった場合、すなわち、回転停止時期が母材のアプセット開始

Fig. 3 Relation between time T_{DL} and amounts of upset

Fig. 4 Relation between time T_{DL} and amounts of upset

Fig. 5 Relation between time T_{DL} and amounts of upset

後になる場合には、 L_u の中に Fig. 1 における L_h の一部が含まれることになる。

3. 2 L_u と曲げ強さの関係

3. 1 において、 T_{DL} が短くなるほど L_u が大きくなることがわかった。そこで、 L_u が継手性能を左右する¹⁾ということから、 T_{DL} の長短にかかわらず、実験によって得られた L_u と継手強さの関係を求めた。

曲げ試験片は、S45C、S25C 両材の場合とも、圧接のままの状態ではみみを削除し、研磨仕上げを行なって、S45C は直径 15.8 mm、S25C は直径 18.5 mm の各寸法に仕上げた。曲げ試験法はローラ曲げで、荷重点は接合部中心とし、押し金具先端半径は、S45C に対しては 15 mm、S25C に対しては 10 mm とした。

Fig. 6 は S45C 材を用い、 $P_h=4 \text{ kg/mm}^2$ 、 $P_u=10 \text{ kg/mm}^2$ 、 $N=3510 \text{ r.p.m.}$ 、 $T_h=7$ および 15 sec の各条件において、 T_{DL} を種々に変化させて圧接を行なった試験片による曲げ試験結果である。この図において、 L_u と曲げ強さの関係を示す線を強いて描くと点線のごとく

Fig. 6 Relation between amounts of upset and maximum bending loads in roller bend test

Fig. 7 Relation between amounts of upset and maximum bending loads in roller bend test

Fig. 8 Relation between amounts of upset and maximum bending loads in roller bend test

なるが、各点のこの線からのばらつきがはなはだしく、引張強さと L_u の間に見られるような明確な関係¹⁾は得られなかった。Fig. 7 は、回転数のみを 1770 r.p.m. とし、他は Fig. 6 におけると同じにした場合の結果である。この場合には、 L_u と曲げ強さの間に相関関係は認められない。Fig. 8 は S25C 材を用い、 $P_h=4 \text{ kg/mm}^2$ 、 $P_u=10 \text{ kg/mm}^2$ 、 $N=1770, 3510 \text{ r.p.m.}$ 、 $T_h=5, 7, 10, 15 \text{ sec}$ の各条件で圧接したものによる結果である。この場合には、 L_u の増加とともに曲げ強さが上昇する傾向がみられないでもないが、やはり、明確な関係は認められない。

3.3 アブセット遅延時間と曲げ強さの関係

3.2において、 L_u と曲げ強さの関係において整理したもので、引張強さとの関係にみられるような整った結果が得られなかった。これは、 L_u のみでまとめたため、 T_{DL} の効果を関連させなかったことにその原因があると考えられる。そこで、各圧接条件を単位として、 T_{DL} と曲げ強さの関係を求めてみることにする。

Fig. 9 および10は、S 45 C 材による結果で、それぞれ $N=3510, 1770$ r.p.m. の場合である。両者とも、 T_{DL} が0から -0.05 sec の間にある場合に高い曲げ荷重が得られている。Fig. 11 および12は、S 25 C 材による結果で、それぞれ $N=3510, 1770$ r.p.m. の場合である。これらの結果についても、S 45 C 材によるものと同様、 T_{DL} が0から $(-0.03 \sim -0.07$ sec) において高い曲げ荷重が得られている。

Fig. 9 Relation between time T_{DL} and maximum bending loads in roller bend test

Fig. 10 Relation between time T_{DL} and maximum bending loads in roller bend test

Fig. 11 Relation between time T_{DL} and maximum bending loads in roller bend test

Fig. 12 Relation between time T_{DL} and maximum bending loads in roller bend test

以上の各実験結果をまとめてみる。

S 45 C 材を用い、じゅうらいの実験結果における適当な条件、 $N=3510$ r.p.m., $P_h=4$ kg/mm², $P_u=10$ kg/mm², $T_h=7$ および 15 sec によって圧接した場合 (Fig. 3, 6, 9), アブセット量は T_{DL} が短くなるにしたがって増加しており (Fig. 3), この L_u の増加にともなって曲げ強さも増加する傾向がみられる (Fig. 6). しかし、 L_u が 1.4 mm のように小さくても破断しない曲りうる継手が得られた。これは、Fig. 9 において、 T_{DL} が -0.01 sec 前後の条件におけるものである。本圧接機本来の運転状態 ($T_{DL}=0.08$ sec) では、この L_u では曲げ破断する。この差異は、 T_{DL} を調整したことによるものと考えられる。一方、S 45 C 材で、じゅうらいの不適當な条件、 $N=1770$ r.p.m. の場合 (Fig. 4, 7, 10) にも、 T_{DL} の短縮にともなって L_u は増加するが、その値は 2 mm を越えないような小さい値である。 $L_u=2$ mm 以下では、じゅうらいの結果からすれば、完全な継手性能をのぞむことは困難であった。しかるに、いまの場合、Fig. 7 にみられるように、 $L_u=1.0$ mm および 1.5 mm においても完全に曲げうる継手が得られている。そして、この 2 点は、Fig. 10 において、 $N=3510$ r.p.m. の場合と同様、 T_{DL} が 0 から -0.04 sec の範囲におけるものである。このことは、前例と同様、継手性能に対する T_{DL} の効果を示すものと考えることができる。

さらに、S 25 C 材では (Fig. 5, 8, 11, 12), $N=3510$ および 1770 r.p.m. いずれの場合とも、 T_{DL} の短縮にともなって L_u が増加することは前二者と同じである。また、 L_u が 2.0 mm 以下の場合には、本圧接機本来の運転状態では、たとえば、 $N=3510$ r.p.m. のとき ($T_{DL}=0.08$ sec), $L_u=1.9, 2.2$ mm による試験片では、それぞれ、2.1, 2.2 ton の曲げ荷重で破断した。これに対し、Fig. 8 にみられるように、 $L_u=1.7$ mm ($T_{DL}=-0.03$ sec) によるものにおいて、曲げ荷重は 3 ton に達し、かつ、じゅう分なる曲げ角度が得られた。さらに、 $N=1770$ r.p.m., において、 $T_{DL}=0.15$ sec (圧接機の本来の

状態)では, $L_u=1.2$ および 1.3 mm による試験片では, 曲げ荷重は, それぞれ, 2.3 および 1.7 ton となった。しかるに, $T_{DL}=-0.07$ sec, $L_u=1.3$ mm によるものでは, 3.0 ton の曲げ荷重が得られ, かつ, 完全な変形がみられた。これらの対比現象は, T_{DL} の短縮によるものと考えられるのは前2者の場合と同じである。

3.4 アプセット遅延時間と引張強さの関係

3.3 までは, 継手性能の判定に曲げ強さを採用したが, 本節において, 継手の単純引張に対する T_{DL} の効果について調べた結果を加える。供試材料としては, 通常硬化がいちじるしくないと考えられる S10C 材を使用した。この材料を用いたのは, 上記諸鋼材によると, 圧接時の熱履歴により, 接合面近傍が硬化し, 圧接部を中心とした位置での破断が望めないからである。Fig. 13 は, $N=2380$ r.p.m., $P_h=4$ kg/mm², $P_u=10$ kg/mm², $T_h=10$ sec の条件で圧接した試料を, バリのみを削除し, 平行部直径 24 mm, 平行部長さ 20 mm に仕上げて引張試験を行なった結果である。この形状の試験片を用いたのは, 強制的に継手部で引張破断を生起させて継手部の強さを比較するためである。この圧接条件において得られる L_u は, 最大 0.8 mm で, T_{DL} の変化によっても, いずれもほぼ同じ L_u の値を示している。継手強さは $T_{DL}=0$ sec の近傍で最高値をとり, T_{DL} が長くな

Fig. 13 Relation between time T_{DL} and tensile strength of welded joints

Remarks: T_{DL} with star mark show the time in case the machine is operated under original state.

Photo. 2 Test specimens after tensile test (0.10%C Steel)

ると継手強さは低下する。さらに L_h および L_u の大きさを一定にして圧接を行なったものについての引張破断後の状態を Photo. 2 (a),(b) に示す。なお, 各試験片についての圧接条件, 引張強さなどは, 写真の右側に一覧してある。引張試験の結果, その引張強さは $42.6\sim 48.1$ kg/mm² の間にばらついているものの, いずれも母材の強さ 38.5 kg/mm² 以上となっている。これは, 写真からも分かるごとく, 接合面近傍が熱履歴を受けて硬化したこと, さらに試験片は平行部長さが平行部直径よりも短くなっているため測定値が硬化部の強さを示すことによるものである。さらに T_{DL} が短いものでは母材部分で破断が生じており, 上述の試験片の形状をも考え合わせると, この継手部は完全であることがわかる。この場合, L_h および L_u は一定におさえてあるため, 継手性能におけるこれらの差異は T_{DL} を変化したことによる差とみなしてよく, 前述の曲げ試験の結果および考察を裏付けている。

4. 結 論

アプセット圧力付加時期の圧接継手の性能への効果を調べた本実験の範囲において, 結論されるおもなものはつぎのとおりである。

(1) 圧接部が良好な継手性能を有するためには, アプセット圧力を付加する時期は回転停止前 $0.05\sim 0.08$ sec に, 換言すれば, 母材がアプセットされ始めた直後に回転が停止するように調整すればよい。

(2) アプセット遅延時間を1におけると同じくすれば, じゅうらいの実験ではじゅう分な継手強さの得られなかった圧接条件においても, 比較的小さなアプセット量で, じゅう分な強さをもつ継手をうることができる。

参 考 文 献

- 蓮井, 福島: "0.25%C 炭素鋼の摩擦溶接条件についての2, 3の実験的考察" 金材技研報告, 7巻(1964), 5号, 419~431

Test specimen	N: 2380 r.p.m., P_h : 4 kg/mm ² , P_u : 16 kg/mm ² , L_u : 2.0 mm			
	(A) L_h : 1.0 mm		(B) L_h : 3.0 mm	
	T_{DL} (sec)	Tensile strength (kg/mm ²)	T_{DL} (sec)	Tensile strength (kg/mm ²)
1	1.78	42.62	1.79	43.50
2	0.95	46.98	0.94	48.05
3	0.48	45.04	0.43	45.82
4	0.30	43.50	0.27	44.65
5	0.16	45.15	0.14	47.93
6	0.08*	46.70	0.06*	44.80
7	0.04	45.30	0.03	47.63
8	0.00	44.98	-0.02	45.32
B.M.	—	38.55	—	38.55