して一應の結果を出した譯であつて、これだけで結論を出す事は早計である。唯残留應力の生成の原因として高温度に於ける塑性流れに基く變位のくひちがひ dislocation があげられる事を明確にし得た。又相當低温度になつても收縮應力が發展しそれに依り拘束の條件が不利の時破壊が生ずる事即ち破壊は低温度になつてから發生する事を豫想し得た。

輻射の影響及び衝合熔接に關しても同様な取扱ひをすると、 $nS_0(r)$ 及びも一つ高度の函數を誘導する事に依つて明確に計算し得るがこれについては項を改めて論ずる事にする。尙慣性項の影響、冷却速度との關聯等に多くの問題が残つてゐるが、これも今後の問題に残しておく。

本研究は東大第一工學部熔接研究室に於て著者等の指導の下昭和22年9月同大學船舶工學科卒業の佐藤邦彦、有延瑛兩學士の卒業論文として取あげたものであつて兩君の眞摯な努力をこゝに明確にした。

尙實驗に於て有安久、加勢祐吉兩助手の援助を明記して感謝する次第である。又本研究は學振第七部の援助に依るものである。

〔註〕

- 1) 例へば J.P. Den Hartog: Temperature Stress in Flat Rectangular Plate and in Thin Cylindrical Tube—Journal of Franklin Institute, Vol 222, 1936.

又は Palmblad: Shrinkage Stress in Weldi-

ng,—Welding Journal, Nov. 1937.

又は J.N. Goodier: The Thermal Stress in a Strip Due to Variation of Temperature Along the Length and Through the Thickness—Physics Vol 7, April 1936. 等.

- 2) 例へば 仲威雄: (熔接協會誌 Vol 11, 1941. 建築學會論文集 Vol 21 其の他)
又は 仲威雄, 増淵與一 (熔接學會誌 Vol 16 No. 7, 1947)
又は Rosenthal (welding Journal 1938 及び 1941)
- 3) 例へば Rosenthal (welding Journal May 1941, p220~234)
又は 氏家竹次郎 (日本學術振興會第4小委員會報告 XI)
- 4) Neumann von Voigt [Kompendium der Theoretischen Physik] III Teil Wärmelehre.
- 5) Timoshenko; Plate and Shell.
- 6) もつと低温で降伏しており、又 700° にても尙變形抵抗を有してゐるが、實驗で示される Lüders' line より孔の内壓に依る状態と相似なる事が推察され、かゝる技能的な取扱ひは是とされる。
- 7) 講演會で發表した様な變位ポテンシャルより誘導された値と全く同じ値を示す。 a^2 を考慮すると異なる。
- 8) Cleaves and Thomson [The metal Iron] 1935 New York and London chap V
- 9) $k=z$, $\beta=1$ として計算した。 k , β の値は實驗的に定める以外にない。
- 10) Bierett und Grüning: Schrumpfespannungen in Autogen Geschweissten Teilen—Mitteilungen der deutschen Materialprüfungsanstalten. Sonderheft XXIII—XXV, 1934 p77—86(84)

6. 大型鋼材特に軌條のフラッシュ衝合熔接

正 員 山 本 一*

On the Flash Butt Welder for Heavy Sections such as Rails

by H. Yamamoto, member

Abstract

This flash butt welder has an ability joining large sections up to 7620 mm² cross sectional area corresponding to 60 kg heavy rail, the capacity of which is 700 kVA. The technical features of this machine are its large welding capacity, thorough automatic control from preheating to upsetting process and the vertical type clamps with a power motor, having adjustable mechanisms against small gaps between both materials to be welded.

The machine by this design is successfully employed and the welded rail joints show satisfactory mechanical properties.

* 日立製作所多賀工場

〔Ⅰ〕 緒 言

抵抗熔接法の一種としてフラッシュ衝合熔接法の特長は既に衆知のもので、之を實地に應用すれば劃期的な成果を發揮すると宣傳されているが未だに廣く利用されないのは一にこの種熔接が種々の點で満足なものでないこと、特に大型自動機の末完成が大なる原因の一つであつた。

ここに紹介する熔接機は50キロ60キロ程度の大型軌條並に之に匹敵する斷面を有する鋼材を全自動操

作によつて完全な熔接が出来るもので、その一機は目下運輸省鐵道總局に於て大型軌條即ち古軌條の再生、異形寸法の軌條の接合、新軌條の繼目なし長尺化、等に使用されることとなつた。

〔Ⅱ〕 大型鋼材特に軌條熔接法

ここに大型鋼材と稱するものは斷面積 7620mm² (60キロ軌條相當)を最大とするものであつて、この程度の斷面熔接には文献によると第一表の如き熔接法が實施されてゐる。

第 1 表 連続熔接軌條の成績比較

項目	ガス熔接法	テルミット熔接法	フラッシュ衝合熔接法	ガス加熱壓接法	備 考
概 要	112lbs, 131lbs レール 使用. 熔接時間 1ヶ所 1.5 所間 1600°F 焼鈍	112lbs, 131lbs レール使用	131lbs レール 使用*	112lbs レール 酸素アセチレン 焰加熱. 油壓 加壓	* 詳細 Railway Age 1937, Sept. 参照
熔接部組織	フェライト多く 粒子粗大化す	同 左	フェライト少く 粒子粗大化少し	同 左	
抗張力 1000lbs/□"	112# 112 レール 97-57-62	112# 113-106-122	126-131-133	122-122-124	頭-腹-底の値
衝撃値. Ft-lbs	14-6-24	28-5-9	160-85-112	92-107-108	同上
疲勞試験 荷重 lbs	40,000	75,000	75,000	55,000	車輪に荷重をかけて往復運動をさせる
破壊サイクル數	1,261,200	582,900	2,001,600	2,046,500	
最大剪斷力 lbs/□"	13,000	23,000	23,000	17,900	
破斷にいたる落重 回数	1	1	2	1	2000lbs 重錘を 20~22呎の高所 から落下, 支點 距離 3~4 呎.
屈曲試験 最大荷重 lbs	168,500	231,500	315,100	239,200	
破斷エネルギー Ft-lb	7,360	22,200	121,500	72,100	
彎曲度	0.53"	1.65"	5.98"	4.70"	

本表を見る時に落重試験に 2 回以上耐えたものはフラッシュ衝合熔接法のみで、疲勞耐久度も他法に比し 2~3 倍の値を示している。猶ほ熔接時間は筆者の實驗によれば一回 5 分前後で斷然他法に比し能率的である。其の上、電弧熔接法(Ⅱ)では熔接個所の豫熱が最も重要な因子であり、熔接棒の良否、並に熔接技術が其の成績を左右すること大である點を考へる時には上記の如き優秀性を有するフラッシュ衝合熔接法を自動操作で完了させるのが理想的であることが了解される。

〔Ⅲ〕 大型フラッシュ 衝合熔接機 (第1圖) (省略)

本機は大臣研究命令により完成したものと同性能のもので、800kVA, 700kVA の二種類を完成させた。從來使用されている熔接機に比して改良を加えた點は、被熔接物をつかむ方法として縦型クラシブとし、つかむ力は加壓力と共に何れも直接電動機によつたこと、くり返し豫熱操作からフラッシュ行程並びに最後の加壓迄の全熔接操作を押釦による自動式にした事で、尙實際熔接をする場合に電極部の食い違いを重量物をつかんだまゝ上下前後調整も出来る様

にした点である。

(1) 熔接設備概要 (第2圖) 熔接用動力線としては三相 3300V60 ϕ を油入遮断器を経て単相變壓器 200kVA 2臺を逆V接続として、此處で二次電壓を 440V として、熔接電流開閉用の電磁主接觸器に導き、熔接電流を加減する單巻變壓器から熔接機

本體の后背にある熔接變壓器に通電する。その外附帶設備としては第2圖に示す如きものがある。本體はピットの中に低く沈めて据付け、長尺物の地上から搬出入に便ならしめ且つガイドローラー上をたらし様にしてある。

第2圖 700KVA フラッシュ衝合熔接機

(2) 熔接機仕様

(A) 型式 FVE-ERL 700KVA フラッシュ 衝合熔接機

(B) 容量 熔接最大断面 7620mm²

第2表

軌條 kg/m	高さ mm	断 面 mm ²	周囲 mm	周囲/ 断面	棒鋼相當 徑mm	角鋼相當 邊mm
60	166	7620	700	0.091	100	88
50	145	6299	595	0.095	90	80
37	122	4650	540	0.116	77	68
30	107	3876	488	0.125	70	62

最大入力 700kVA 440V 60 ϕ 単相
電極つかみ 開き最大 180mm, 動き 150mm

(C) 制御方式 (特許 146662)

レオナルド制御で速度加減をする押釦自動操作

(D) 電動機

つかみ用 (5HP 2臺)

加圧用 (25HP 1臺)

レオナルド用 (10HP $\times$ 5kw $\times$ 0.5kw 1臺)

(E) 變壓器

電動機動力用 50KVA 3相 1臺

熔接電源用 200KVA 単相 2臺

(F) 熔接機

(a) 本體機械部分 (b) 700kVA 熔接變壓器

(c) 被熔接物つかみ装置 (d) 自動フラ

シ発生装置 (e) 加壓装置 (f) 自動操作
制御装置(制御調整箱) (g) 各種指示計
(h) 各種リミット スイッチ

(3) 熔接機構造 (特許 145572, 146662, 新案
300992)

熔接の三要件である豫熱, フラッシュ, 加壓の三操作が一定の時間と數値とで働くために構造上狂ひのないよう, 強大な衝撃に對する強靱性を持たせてある。

第 3 圖 フラッシュ衝合熔接機正面圖

第 4 圖 フラッシュ衝合熔接機側面圖

(A) 熔接變壓器 氣冷式外鐵型で熔接電流による機械的衝撃には充分の耐力を有し, 且つフラッシュ粒子が飛込まぬ様に本体の後背部におき鐵箱に納めてある。

(B) 電流調整用單卷變壓器, 及開閉器 前者は 12 段のタップで其の切換えは同一鐵箱に納めた氣中双型開閉器を使用した。

(C) 電磁主接觸器 氣中遮斷式で電磁石により熔接大電流を開閉するもので頗繁な動作に故障の起らぬものを用いた。

(D) つかみ装置 電極を上下させ被熔接物を確實につかむ事は熔接の可否を決定するもので, 押鉗(上, 下, 停三點)で齒車直結の電動機を動かして, つかみ部分が下降して被熔物をつかみ一定の加壓力が出ると輪ばねの作用で定壓の状態で自動的に電動機は止る。熔接中の加熱膨脹等に依る變化も適當に逃げられ, 加壓時の迂りも起さぬ様にしてある。

その構造は低速電動機を齒車と共につかみフレーム内に納めウオーム輪中心を上下する角ねち棒の下端に電極と上端に輪ばねを介在させ, 電極が被熔接

物に接する迄下ると、輪ばねが壓縮して、所要壓力の所でリミットスイッチを切るものである。この壓力は指針で外部から調整出来る。電極は導電率高く強度大なる硬銅で水冷とする。尙正面左側固定電極は被熔接物をつかんだまゝ上下前後各10mm程度の微量調整が可能である。

(E) 自動フラッシュ発生装置 大型鋼材の熔接には接合断面が一様に加熱されてフラッシュ発生温度(850°C程度)に達する事が必要でこれには接觸離脱を反復しつつ通電加熱するが、従来の熔接機は長時間のものには何れも手動で作業者の判断で行つてゐた。この部分を自動化する目的でレオナルド制御方式を採用し一個の直流電動機で速度を十數分の一に迄落すことにより豫熱時中の高速、フラッシュ時中

の微速度を確保することに成功した。第5圖はドリルパイプ熔接の場合の試験記録である。

(F) 加壓装置 加壓(接合)装置には頑丈な角ねじ棒を使用し、これで加壓移動臺を動かす。電動機は加壓調整用のフリクションカップリングを介在させてあるので、壓力調整と衝撃緩和が出来る。

尙りを防ぐため電磁制動機を設けてある。

(G) 自動電氣操作 自動制御調整箱内に納めた一群の時限繼電器と移動臺其他の行程の兩端を決めるリミットスイッチ群で自動操作を操縦押釦盤(第6圖)(省略)上で行う。(動作詳細は後記)

(H) 指示装置 つかみ壓力、加壓移動臺の動き、電極の開き等を指示して作業者に適確な判断を與える。

第5圖 ドリルパイプ自動熔接記録

(4) 動作の大要(第7圖)

(i) つかみ動作 先づつかみ電動機用双型開閉器 KS_1, KS_2 を投入し、挿釦 B_{10}, B_{11} の(正)を押すと電動機 M_1, M_2 回轉し、上部電極が下降し、熔接物を押し付け所定の壓力に達すると、壓力開閉器 LS_1, LS_2 が作用し M_1, M_2 は自動停止する。熔接物を取

第7圖 熔接装置結線圖

外す時は押釦 B_{10} , B_{11} の (逆) を押すと電極は上昇し、適當の所で (止) 釦で停止させる。つかんだ時被熔接物接合面の食い違いは第 3 圖中の前後調整用把手, (H) 上下用把手 (T), で行う。

(ii) 熔接動作 先づ制御調整箱の双型開閉器 KS_3 (MG セット用), KS_4 (加壓) KS_5 (制御回路) 等を投入。次に押釦 B_9 (スタート) を押せば電動機 M_3 (レオナド用) が回轉を始める。

(iii) 手動操作 新しく熔接を開始する際最初に熔接諸元を決定する爲には、各動作が手動で單獨に出来る必要があるが、之は熔接機正面の操縱押釦盤の各種押釦を順次に押す事によつて任意の動作が出来る。

(iii) 自動操作 自動手動切替 タンプラ スイッチ TS を自動側に倒す。次に自動熔接起動押釦スイッチ B_2 を押すと、電磁復歸繼電器 R_3 が動作して、熔接電流開閉用主接觸器 CTT_6 が生きて熔接回路ができ、自動操作が初まる。同時に豫熱時間を決定する TR_4 , TR_5 の兩長時限繼電器が生きる。

豫熱操作

進む:— 長時限繼電器 TR_1 が或る時限をもつて閉路すると、多接觸繼電器 R_1 が閉路し、豫熱用直流電動機 DCM が正回轉を初め、加壓臺は豫熱速度で前進を起す。熔接物が接觸して電流が通ずる様になると、制御用變流器に起電力を誘起し、多接觸繼電器 R_5 が動作し、前述の TR_1 が閉路する。 TR_1 が開くと R_1 も開き、 DCM は停止し熔接物は接觸したまゝ加熱を續ける。

戻る:— 同時に R_5 の動作に依つて長時限繼電器 TR_2 が或る時限をもつて閉路すると、多接觸繼電器が閉ぢ、先の DCM は逆轉し、加壓臺は後退を初める。被熔接物が互に引離されると、再び R_5 が無電壓となり、 TR_2 は開き R_2 も開いて DCM は停止する。然るに TR_1 の回路は或時限をもつて再び閉路するから前回の進むの動作が再び繰返されることになる。

フラッシュ:— 上記の豫熱が終了する時刻、即ち TR_3 が所定時間後閉ぢる時になると多接觸繼電器 R_6 が働き、電動機速度調整可變抵抗器 FR_4 が入つて DCM は低速となり、移動加壓臺はフラッシュ速度で前進を初める。(猶 TR_3 が閉ぢる前に既にフラッシュ選擇リミットスイッチ LS_{11} は加壓移動臺の前進の時閉ぢてゐる。) 若しフラッシュ前進中に被熔接物が局部的に熔融し合つて短絡すると、大電流が流れ (フラッシュの時には電流は少い)、前述の R_5 が生

き TR_1 が死に、 R_1 が開いて DCM は停止するから、加壓移動臺は其の場で前進を止め豫熱時の戻るの動作に再び入る。即ち TR_2 並びに R_2 が閉ぢて DCM が逆轉開始し加壓移動臺の復歸となり、改めてフラッシュ行程を初めからやり直す。このためフラッシュ不充分的まゝでアブセット (壓接) に移る心配がない。

アブセット (壓接):— 加壓移動臺が前進してフラッシュ寄せの終點に達すると、フラッシュストロークリミットスイッチ LS_{12} が閉ぢて、多接觸繼電器 R_4 が閉ぢ加壓用電動機 M_4 が正轉し、加壓用滑動圓筒が角ねち棒から押出され高速度で加壓移動臺に追突し、アブセットを行ふ。所要のアブセット寄り代だけ進むとアブセットストロークリミットスイッチ LS_{13} が閉ぢ、電磁復歸繼電器 R_3 が開き、制御回路を開放して熔接全操作が完了する。熔接物を取外した後加壓移動臺を復歸後退させるには、手動熔接 (戻る) 押釦スイッチを押せば、加壓移動臺加壓用滑動圓筒は所定の位置に復歸して停止する。

〔IV〕 試験記録

實際熔接した場合の成績を第 3 表並びに第 4 表に示す。

第 3 表 軌條熔接試験記録

試 験 番 號	# 1	# 2	# 3	# 4
操作方法	自動	手動	自動	手動
熔接軌條 kg/m	50	50	60	60
使用タツプ番號	C-8	C-1	C-3	C-2
一次電壓 豫熱 (V)	400	393	360	384
一次電壓 フラッシュ (V)	442	440	432	428
一次電壓 豫熱 (A)	1000	1140	1580	1350
一次電壓 フラッシュ (A)	410	410	350	330
消費電力量 kwh	4.60	4.10	7.48	6.0
電極間隔 mm	120	120	130	130
つかみ力 tpn	20	20	20	20
加 壓 力 ton	13.6	13.6	15	15
豫熱斷續回数	12	9	12	11
時限繼電器調整位置	$\left\{ \begin{array}{l} TR_1 \\ TR_2 \\ TR_3 \\ TR_4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 3 \\ 3 \\ 9 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array} \right.$
全熔接時間 (分)	3.50	3.03	4.12	3.40
熔接部外觀	良	良	良	良

50kg/m 軌條試番 #1 で熔接後の熱處理は行われない状態に於て行つた各種試験の結果を第 4 表に示す。

第4表 ドリルパイプ溶接試験記録
ドリルパイプ 断面積 7800mm²
周波数 60~ 室温 17°C

操作方法	自動	自動	手動
被溶接物	ドリルパイプ	ドリルパイプ	ドリルパイプ
使用タップ番號	C-2	C-2	C-1
一次電壓 { 豫熱 (V) フラッシュ }	380 432	392 410	392 440
一次電流 { 豫熱 (A) フラッシュ }	1,380 480	1,400 480	1,200 380
一次入力 { 豫熱 (kw) フラッシュ }	205 115	218 102	190 86
消費電力量 (kwh)	3.6	3.44	3.84
溶接電流 { 豫熱 (A) フラッシュ }	44,000 15,300	44,600 15,300	41,800 13,200
寄り代 { フラッシュ (mm) アフセット }	11	10	9
寄り速度 { フラッシュ (mm/sec) アフセット }	1.56 22.3	1.16 22.3	1.38 22.3
全溶接時間(分)	3.41	3.45	4.58
全寄り代(mm)	39	29	33
時限繼電器調整位置 { TR ₁ TR ₂ TR ₃ TR ₄ }	1.0 2.5 3.0 9.0	1.0 2.5 3.0 9.0	
溶接部外觀	良	良	良

備考:—

- (1) 豫熱の断続通電回数は自動、手動共12回前後なり。
(2) 電極の冷却水量は 3.5 立/分 なり。

(a) 抗張力試験 試片の採取は A₁, A₂, A₃ の 4 ケ所とした。其の結果を第9~11 圖, 及び第5表に示す。

(b) 硬度測定 (ロックウエル C-100kg 荷重 第11圖に其の結果を示す。

(c) 顯微鏡組織 第13~18圖(省略) にそれぞれの組織を示す。

本結果を見る時には、一般の炭素鋼のフラッシュ衝合溶接の場合と同じく溶接部は相當脱炭作用を受けて居るが、溶接状態としては良好に見受けられる。

第9圖 抗張力試験片採取圖

第10圖 硬度測定試験片採取圖

第5表 抗張力試験 (アムスラー試験機による)

採取位置	試番	断面積 mm ²	荷重 kg	抗張力 kg/mm ²	G. L. mm	實際伸 mm	伸 %	切斷部
A ₁	1	13.77	11155	75.5	50	10.1	20.2	GL 内
	2	13.98	10900	71.0	50	13.3	26.6	"
	3	13.95	10155	96.5	50	12.8	25.6	"
	4	13.96	11908	77.8	50	9.7	19.4	"
	5	13.95	11900	77.9	50	9.8	19.6	"
	平均	13.89	11108	73.8	50	11.1	22.3	"
B ₁	1	13.88	13200	86.8	50	7.0	14.0	GL 内
	2	13.98	12000	78.2	50	4.3	8.4	"
	3	14.05	10200	65.8	50	1.9	3.8	"
	4	14.01	13150	85.4	50	2.1	4.2	"
	5	13.95	11900	77.9	50	9.8	9.6	"
	平均	14.95	12080	78.9	50	5.0	10.0	"
B ₂	1	9.87	5740	74.8	35	5.0	13.8	GL 内
	2	9.98	6060	77.5	35	5.5	15.7	"
	3	9.96	5230	67.2	35	2.0	5.7	"
	4	10.20	5950	75.5	35	1.0	2.9	"
	5	10.01	7000	89.0	35	1.6	4.6	"
	平均	10.00	6000	77.0	35	3.62	8.56	"
B ₃	1	13.68	11200	77.0	50	6.9	13.8	GL 内
	2	14.00	10200	66.3	50	1.7	3.4	"
	3	13.97	11100	72.4	50	4.2	8.4	"
	4	13.92	12500	82.2	50	3.2	6.4	"
	5	13.99	12150	79.1	50	3.0	6.0	"
	平均	13.99	11400	75.5	50	3.3	7.6	"

第 11 圖 硬度測定圖表

本材料試験は單なる試験片採取による抗張力試験のみであるが、第 4 表で判る様に母材と熔接部の強度は殆んど大差なく、熔接部の強度が 5% 増加している。然し焼鈍してないために熔接部附近の組織は粗大粒子が出来て伸は低下しているが、先年 15kg/m 軌條熔接試験の結果に比べるとこれも増加している。實際使用上焼鈍の問題が残されるが焼鈍せずとも熔接後の餘熱除冷を工夫すれば差支へない程度にはなるやうである。この外目下鐵道當局では落重試験、耐久疲勞試験を計畫中であるのでより詳細な成績の發表が出来ると思う。

〔V〕 結 言

試験記録には大型軌條熔接用としての本熔接機の性能を記載したが、従来フラッシュ衝合熔接法には諸先輩の發表が多くあるが、大容量の熔接機で大型鋼材の熔接を行つた記録の發表が少いと思つたので報告を致した次第である。本機と同時に完成したものに 800kVA 機がある。被熔接物は C0.5% Mn 1~1.2%

含有の特殊鋼管で外径 $4\frac{5}{8}$ " (117.5φ) 内径 $2\frac{7}{16}$ " (61.9φ) 斷面積 7800mm² であつて軌條同様の自動操作で完全熔接を行ふことが出来た。

此處に本機の特徴を要約すると

- (1) 押卸全自動式であること、従つて常に均一の製品の製作が可能。
- (2) 従来壓縮空氣機關を要したもの不要。
- (3) 作業能率の向上。

等である。今後に残された問題としては現在の國狀では所要資材を多く要し、大容量の變電設備を持つことであるが、諸外國では數年前から實用に供されてゐることを思う時に、熔接界に於て此種熔接機を使用して機械部分品の量産化、土建關係構造材の長尺化、又は半端物の定尺化、再生利用等に大いに發展させたいものである。終りに本機の完成に多大の御援助を戴いた鐵道總局關係の諸官並に日立製作所關係各位に厚く御禮を申し上げる。

文 献

- (1) 堀 越: 交 通 研 究 (昭14~6)
- (2) 山 本: 日 立 評 論 (昭15~3)
- (3) 三 浦: 日 立 評 論 (昭15~9)
- (4) 山本・三浦: 日 立 評 論 (昭18~2)
- (5) 西 山: 熔 接 協 會 誌 (昭17~2)
- (6) 岡 田: 同 上 (昭18~6)
- (7) 合 原: 安 川 電 機 (昭17~7)
- (8) Otto Graf: V. D. I. 1250 (1939~12)
- (9) W. Ebersbach: A. E. G. Mitt. 162 (1939)
- (10) 山 本: 電 機 技 報 (昭20~9)
- (11) 岡 田: 熔 接 學 會 誌 (昭21~)