と、圧潰部の溶融にともなって通電初期から通電路を拡大しながらナゲットが成長するが、径の大きなプロジェクションを使うと、通電初期にプロジェクション周辺がリング状に加熱され、ほぼ一定の通電路を保ちつつ、溶融部を形成する特徴がある。

(3) ナゲット径と引張剪断強さの関係はプロジェクション径や加圧力によらず、一定の関係を示す。

(4) プロジェクション径と加圧力によって決定される臨界電流値以上であれば、ナゲット径の飽和値は電流値のみによって決定され、加圧力やプロジェクション径にはほとんど依存しない。

(5) 径の小さいプロジェクションは加工度が大きく打出し部が平面に戻りにくいが、インデンテーションに関しては初期、中期チリの影響の方が大きい。

参 考 文 献

- 1) 仲田, 西川, 末松, 水谷, 兼田: プロジェクション溶接現象についての研究 (第1報), 溶接学会誌 46-7 (1979), p. 470
- 2) 仲田, 西川, 末松, 兼田: プロジェクション溶接現象についての研究 (第2報), 溶接学会誌 46-8 (1977) p. 578
- 3) 仲田, 西川, 末松, 兼田: プロジェクション溶接現象についての研究 (第3報), 溶接学会誌 46-10 (1977) p. 635
- 4) S.J. Brown, G.A. Duchon and R.A. Goodrich: Short Cycle Projection Stud. Welding, Weld. J. 46 (1967), p. 753
- 5) R.E. Bryant and A.D. Thomas, Jr.: The Effect of a volume Relief on the Strength of Solid Ridge Projection Welds, Weld. J., 46 (1967), p. 562-S
- 6) J.F. Harris and J.J. Riley: Projection Welding Low-Carbon Steel Using Embossed Projects, Weld. J., 40 (1961) p. 363
- 7) R.W. Humpage: Resistance-Welding Sheet Projections, British Weld. J., 19 (1972), p. 177
- 8) P.M. Knowlson, M.A.: Projection Weld Geometry and Weldability, British Weld. J., 13 (1966), p. 536
- 9) V.A. Gillevich: Special Features of Projection Welding Conditions, Automatic Welding, 22-1 (1969), p.39

構造用高張力鋼 (50, 60および80キロ級) の 電子ビーム溶接性に関する研究 (第7報)*

荒田吉明** 松田福久** 柴田 泰***
小野凱久*** 玉置光男*** 藤平正一郎***

Mechanical Properties on Electron Beam Welds of Structural High Strength Steels (Report VII)*

by Yoshiaki Arata**, Fukuhisa Matsuda**, Yutaka Shibata**
Yoshihisa Ono***, Mitsuo Tamaoki*** and Shouichiro Fujihira***

From a viewpoint of the practical use for electron beam (EB) welding, the penetration characteristics and the occurring region for weld defects were studied in various welding conditions for thick plate (50~100 mm) of the structural high strength steels, and nextly some mechanical and metallurgical characteristics of the deep-penetrated weld metal were made clear in this investigation. Moreover some problems of the EB-welding procedure in practical use were investigated by using 25 mm thick plate of SM50A. The remarkable conclusions are as follows;

(1) The weld defects occurred in the thicker materials were divided into two main classes, that is, the vertical crack-like center and bottom defects in the stand point of the occurred location in the deep-penetrated weld metals. The former often occurred nearly in a_b ; 1.0, and the latter occurred in $a_b > 1.3$ or < 0.5 . Besides the crack-like center defect sometimes switched over to the cavern-like defect in case of the weld bead in a large weld heat input.

*原稿受付 昭和52年3月31日 (昭和52年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding

Research Institute of Osaka University

***正 員 (株)片山鉄工所技術開発部 Member, Katayama
Iron Work, Ltd., Department of Research and
Development

- (2) It was found that the sound weld metal without defect, the penetration depth of which is 75~77 mm, was obtained nearly for a_b ; 0.7 in case of 27KW beam power. The regions for the sound weld metal obtained tended to be expanded with a decrease of the beam power.
- (3) There is no obvious variation in the oxygen and nitrogen contents between the base and weld metals, or between the face and bottom parts of deep-penetrated weld metal. Furthermore the Mn content in weld metal is decreased 10 % less than that in base metal according to the EPMA-analysis. The degree of the decrease tends to be decreased with an increase of the penetration depth for the analyzed location.
- (4) The impact strength of the deep-penetrated weld metal tends to be lowered in general with an increase of weld heat input, and the strength of the bottom part in the penetration showed higher value than that of the face part. Moreover the impact strength of EB-weld metal had a tendency to be increased with an increase of the hardness of it in general.
- (5) It was confirmed to be possible to enlarge the allowable limit for groove opening and to improve the impact characteristics for EB-weld metal by using the cut wire as an insert material. Furthermore the allowable limits for groove condition in L joint were respectively clarified against the three levels of welding condition, the bead shape of which makes the wedge, well and wine-cup types.

1. 緒 言

本研究は、構造用高張力鋼電子ビーム溶接部の材質的諸特性を明らかにしようとするものである。前報までは25 mm 厚の高張力鋼を使用し、その電子ビーム溶接部の溶接欠陥の発生特性および低温切欠き靱性を含めた機械的諸性質を明らかにするとともに、高張力鋼電子ビーム溶接金属の衝撃試験における試験片の特異な破断現象に着目して破断経路遷移温度 T_F の挙動を明示し、さらに有限要素法を用いた応力解析によりその破断経路遷移現象の可能性を論考した^{1)~6)}。

本報告では、高張力鋼に電子ビーム溶接を適用し、実用化する場合の諸問題にたいする検討を行った。電子ビーム溶接は本来厚板への適用にたいし効果を与えるものであり、実用化の場合大きな成果をもたらすものである。このため厚板材の溶込み特性およびその溶接部の諸性質を解明することは極めて重要である。そこで本報告では、まず 75 mm 厚の HT 80 材を用いて、下進斜面溶接による溶込み特性および溶接欠陥の発生領域等を明示するとともに、ビード溶接による厚板材 (50~100 mm 厚) 電子ビーム溶接金属の諸性質 (主として衝撃特性) にたいする検討を加えた。

次に 25 mm 厚の SM 50 A 材を用いて、電子ビーム溶接を実用継手に適用する場合の施工時の諸問題についての検討を行った。まず開先間隔 (ルートギャップ) の許容度を明らかにするとともに、開先間隔にたいして汎用性のあるサブマージーク用のカットワイヤ (直径; 1 mm, 長さ; 1 mm) をインサート材として使用することにより、その許容度の拡大および溶接金属の衝撃特性の改善が可能であることを示した。さらに実際の溶接施工時における開先条件の許容度を L 型継手について検討し、種々の溶接条件にたいする開先条件の許容度を明示した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

Table 1 は、本研究で採用した供試材料の化学成分表を示す。厚板材への適用にたいして下進斜面溶接による溶込み特性を検討する場合の供試材は、75 mm 厚の HT 80 材を使用した。またビード溶接による厚板溶接金属の諸性質を検討する場合は、50 mm 厚の SM 50 B (以後 HT 50 と呼ぶ)、SM 58 Q (HT 60 と呼ぶ) および HT 80 材を使用した。次に電子ビーム溶接の施工時の諸問題を検討する場合、25 mm 厚の SM 50 A (HT 50) 材を使用した。

2.2 溶接装置および溶接条件

Table 2 は、厚板材への適用にたいする検討で採用した溶接条件を示す。60 kV-30 kW の全真空型の溶接装置を使用し、ビーム焦点距離 D_F はすべて 180 mm とした。表中の a_b 値 (ビーム活性変数; Beam active parameter) は、 $a_b = D_0/D_F$ で定義され⁷⁾、ここで D_0 は対物距離を表わす。Section A および B は、それぞれ下進斜面溶接の溶込み特性およびビード溶接部の諸性質の検討にたいし、採用した溶接条件表である。それらの試験片形状は、すべて幅 150×長さ 500 mm とした。Section A の下進斜面溶接法は、試験片を30度に傾斜し、そのビーム焦点位置を試験片長手方向のほぼ中央部表面に一致させて溶接する方法とした。この場合、したがって a_b 値が試験片上で連続的に変化することになる。それらの入熱条件は、ビーム出力 W_b を主に15, 20および27 kW の3段階に、かつ溶接速度 v_b をそれぞれ種々に変化することにより、溶接入熱 q_b を12~81 kJ/cm の9種類に変化した。次に Section B の溶接条件では、斜面溶接の結果 (後述する) より最大溶込み深さがほぼ 50 mm となる入熱条件を2種類、また 100 mm 厚用のそれを1種類決定し、3種類の入熱条件 (q_b ; 24, 30および81

Table 1 Chemical compositions of materials used.

(wt.%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ceq	Plate thickness (mm)
HT80	0.14	0.29	0.84	0.005	0.004	0.23	1.15	0.48	0.42	0.04	0.52	75
SM50B (HT50)	0.16	0.35	1.50	0.017	0.006	—	—	—	—	—	0.42	50
SM58Q (HT60)	0.11	0.33	1.31	0.018	0.009	—	0.03	—	0.19	0.04	0.42	
HT80	0.11	0.34	0.87	0.009	0.007	0.23	0.46	1.00	0.42	0.03	0.49	
SM50A (HT50)	0.17	0.46	1.43	0.017	0.009	—	—	—	—	—	0.43	25

$$Ceq = C + 1/6Mn + 1/24Si + 1/40Ni + 1/5Cr + 1/4Mo + 1/14V$$

Table 2 Welding conditions used for investigation of penetration characteristics in thick plate steels.

Section	Signature	W_b (KV·mA)	v_b (cm/min)	q_B (KJ/cm)	$(D_F^{a_b}=180\text{mm})$	Remarks	
A	(a)	50-500(30KW)	150	12.0	0.5~1.5	75mm thick plates	Used for down slope welding
	(b)	60-450(27)	100	16.2			
	(c)	60-450(27)	50	32.4			
	(d)	60-450(27)	30	54.0			
	(e)	60-450(27)	20	81.0			
	(f)	50-400(20)	60	20.0			
	(g)	50-400(20)	40	30.0			
	(h)	50-300(15)	50	18.0			
	(i)	50-300(15)	30	30.0			
B	(j)	50-400(20)	50	24.0	0.7, 0.9, 1.2	50mm thick plates	Used for bead on plates welding
	(k)	50-300(15)	30	30.0	0.6, 0.9, 1.2, 1.4	100mm thick plates	
	(i)	60-450(27)	20	81.0			

Note: W_b ; Beam power, v_b ; Welding speed q_B ; Weld heat input, a_b ; D_0/D_F , D_0 ; Object distance
 D_F ; Focal length

kJ/cm)とした。溶接は下向きビード溶接とし、各 q_B 値の場合とも a_b 値を 3~4 種類に変化した。なお溶込み深さ h_p が 50 mm 以上となる場合は、鋼材を 2 枚重ねて溶接した。

Table 3 は、電子ビーム溶接の施工時の諸問題の検討にたいし、採用した溶接条件表を示す。30 kV-15 kW の全真空増溶接装置を使用し、ビード幅 d_B が大、中および小の 3 種類でかつその h_p が 20 mm 前後となる条件を、予備実験により決定した。試験片形状は幅 150 × 長さ 500 mm とし、I 型また L 型継手で溶接を行った。

3. 電子ビーム溶接の厚板材への適用

3.1 下進斜面溶接の溶込み特性と欠陥

(1) 溶接部の検査および欠陥の種類

溶接欠陥の有無は X 線およびマクロ断面検査により検討した。X 線検査は溶接線方向に試験片 (幅 20 × 長さ 450 mm) を切り出し、溶込みの横方向より X 線を照射して行った (JIS Z 3104 の普通級合格フィルムによる)。

Table 3 Welding condition.

Signature	W_b (KV·mA)	v_b (cm/min)	q_B (kJ/cm)	a_b
N	30-300(9KW)	21.6	25	0.8($D_F=261\text{mm}$)
M	30-300(9KW)	15.0	36	1.2(261)
W	30-400(12KW)	12.0	60	1.4(255)

Notes: W_b ; Beam power v_b ; Welding speed q_B ; Weld heat input a_b ; D_0/D_F , D_0 ; Object distance D_F ; Focal length

X 線検査終了後、ビーム入射方向に切り出した試験片のマクロ断面検査により、種々の a_b 値に対応した試料位置で溶込み形状、深さおよび溶接欠陥の発生状況について検討した。

Fig. 1(a), (b) および (c) は、それぞれ Table 2, Section A の (c) (q_B ; 32.4 kJ/cm), (g) および (i) 条件 (いずれも q_B ; 30 kJ/cm) によるマクロ断面写真例を示す。各入熱量はほぼ同一であるにもかかわらず、ビーム出力 W_b が異なるため、溶込み形状および溶接欠陥の発生状況に差異がみられる。一般に溶接部に発生し

Fig. 1 Macro photographs of HT80 welds in three levels of beam power.

Fig. 2 Typical macro photograph of cavern center defect observed in HT80 weld metal.

た欠陥は、溶込み中央部に生ずる中央部欠陥, Center defect ((b) の a_b ; 0.9 の場合の例) と、溶込み底部に生じる先端部欠陥, Bottom defect ((a) の a_b ; 0.5 および 1.5 の場合の例) の 2 種類に大別された。それらは、凝固時に率生した縦割れ状の“引け巣”的な欠陥であった。なお Center defect については、上述の縦割れ状の欠陥以外に大きな洞窟状欠陥 (Cavern defect) もみられ、その例を Fig. 2 に示した。これらは q_b 値が大となるとしばしば発生し、この場合の溶接条件は、Table 2, Section A の (d) 条件 (q_b : 54 kJ/cm), a_b ; 1.0 とした。

Fig. 3 Occurring region for weld defect and equi-penetrated line in W_b ; 27 KW.

以上のような Center および Bottom defect は、薄板 (25 mm 厚) の場合には全くみられず、厚板電子ビーム溶接部の特有な欠陥である。これらは、溶込み深さ方向の溶融金属の凝固過程が不安定な場合に発生するものと思われる。

(2) 溶込み特性および欠陥の発生領域

Fig. 3 は、 W_b ; 27kw の場合における等溶込み線および欠陥の発生領域を、 a_b および q_b 値により整理したものである。図中の各点の数字は、各溶接条件における h_p を表わす。また欠陥の有無および種類にたいする判定は、マクロ断面およびX線検査により行った。各 q_b 値とも a_b ; 1.0 近傍では Center defect が生じており、また q_b 値が大となるとそれらは縦割れ状から Cavern defect に移行した。また Cavern defect の領域は、 q_b の増大につれて増加する傾向を示した。一方、Bot-

tom defect は $a_b > 1.3$ または < 0.5 の領域で発生した。なお無欠陥の領域 (Sound weld metal region) は、 $a_b > 1.0$ の場合には見られなかったのにたいし、 $a_b < 1.0$ では $a_b ; 0.7$ 近傍でそれらの領域が存在した。これは、双方の a_b 値領域でのビード断面形状の相違によるものと思われる。すなわち $a_b > 1.0$ ではビード形状がウェルタイプ (Well type) となったのにたいし、 $a_b ; 0.7$ 近傍ではウェッジタイプ (Wedge type) となったため、後者の方が溶融池凝固時の安定性にたいして、溶込み深さ方向の溶融金属の冷却過程などが、都合のよい状態をもたらせたものと考えられる。また溶接速度 v_b が小で、 q_B 値が大なる程、Sound weld metal region は広くなる傾向を示した。次に等溶込み線図については、 $a_b ; 0.9$ 近傍で h_p が最大となる傾向を示した。ただし q_B 値が大となると、 h_p が最大となる a_b 値は徐々に低下する傾向を示した。なおこの出力の電子ビーム溶接では、最大 75~77 mm 程度の板厚が、無欠陥で溶接できることがわかった。なお $W_b ; 20$ および 15 kw の場合における欠陥の発生特性 ($q_B ; 30$ kJ/cm までの) については、その無欠陥領域が、 $W_b = 27$ kw の場合にくらべ著しく広くなり、またその領域は W_b が小なる程増加する傾向を示した。

3.2 厚板下向ビード溶接部の諸性質

(1) 厚板溶接部の成分変化および硬さ

Fig. 4 は、Table 2, Section B に示した3種の入熱条件による HT 80 ビード溶接部のマクロ断面写真例を示す。(a)、(b) および (c) は、それぞれ $q_B ; 24, 30$ および 81 kJ/cm のマクロ断面であり、他の HT 50 および 60 材についてもそれらと類似していた。溶接欠陥については、 $a_b ; 0.9$ の $q_B ; 24$ および 81 kJ/cm の溶接部で、それぞれ縦割れ状欠陥および Cavern defect などの Center defect が発生した。また $q_B ; 81$ kJ/cm、 $a_b ;$

12 および 1.4 の溶接部では、Bottom defect が観察された。これらの下向ビード溶接における欠陥の発生状況は、前項の下進斜面溶接による結果と類似していた。次に $q_B ; 81$ kJ/cm の HT 80 溶接金属中央部の縦断面マクロ検査によると、 $a_b ; 0.6$ の場合の溶込み先端部にすくいスパイク現象がみられた。この場合、 h_p の変動は 15 mm 程度におよぶことがあり、厚板の溶接条件としてこのような条件を採用する場合は、 h_p の変動に十分注意を払う必要がある。Fig. 5 は、 $q_B ; 81$ kJ/cm、 $a_b ; 0.6$ および 1.2 における HT 80 溶接金属の溶込み深さ方向の酸素および窒素量の変化を示す。分析用試験片は、各溶込み位置の溶接金属中央部より、2 mm 角の長さ 15 mm として採取した。分析は酸素、窒素ガス分析器 (LECO) を用いて行い、分析値は試験片 2 個による平均値とした。溶接金属の酸素および窒素量は母材とはほぼ同程度であって、双方とも溶込み深さ方向または a_b 値にたいして顕著な変化は認められなかった。なおそれらの q_B 値依存性についての検討も行ったが、とくに q_B 値の影響もみられなかった。次に Fig. 6 は、 $q_B ; 81$ kJ/cm、 $a_b ; 0.6$ の場合の HT 50 および 80 溶接金属の溶込み深さ方向の Mn 量の変化を示す。分析は X 線マイクロ・アナライザー (EPMA) を用いて、幅 500 μ の溶接金属中央部について行った。各分析例とも、凝固組織のサブグレインの境界面で、Mn のミクロ偏析がみられたが、図中ではその Mn 量の変化範囲および平均値を示した。従来の研究結果⁸⁾と同様に、各材とも溶込み上部より底部の方が、Mn 量の減少割合がしだいに少なくなる傾向を示した。また溶接金属の Mn 量は、各材とも母材にくらべ約 10% 程度減少していた。なお Mn 量の q_B 値依存性については、 q_B 値が大なる程若干減少する傾向を示した。

Fig. 7 は、 $q_B ; 24, 30$ および 81 kJ/cm、 $a_b ; 1.2$ の

Fig. 4 Macrophotographs of HT80 welds of $q_B ; 24, 30$ and 81 kJ/cm.

Fig. 5 Variation for gas content in deep penetrated HT80 weld metal.

Fig. 6 Variation of Mn content in deep penetrated weld metal.

場合の HT 80 溶接金属の溶込み深さ方向における硬さ分布例を示す。各 q_B 値の場合とも、一般に溶込み底部になる程硬くなる傾向を示し、これらの傾向は他の材料においても同様であった。また q_B ; 81 kJ/cm の場合、溶込み上部と下部の硬度差が 100 Hv 程度にもなり、このことは厚板材溶接の実用化にたいして、十分考慮しておかねばならない。

(2) 厚板溶接金属の衝撃特性

衝撃試験は、HT 50, 60 および 80 厚板各溶接金属中央部について、2 mm V 切欠き標準試験片により行った。 q_B ; 24 および 30 kJ/cm の場合 (50 mm 厚), a_b ; 1.2 の溶接部について、表層より 15 mm の位置より試験片を採取した。また q_B ; 81 kJ/cm の場合 (100 mm 厚), a_b ; 0.6 および 1.2 の 2 種類の溶接金属について衝撃試験を行い、前者の試験片採取は表層より 2, 20 および 60 mm の位置より、後者では 4 および 35 mm の位置よりとした。

Fig. 8 は、 q_B 値にたいする HT 60 溶接金属 (溶込み

Fig. 7 Vickers hardness distribution to deep penetrated direction for HT80 weld metal in various weld heat inputs.

Fig. 8 Impact test results for deep penetrated HT60 weld metal.

のほぼ中央部)の衝撃特性を比較して示した。第5報で詳述したように、本実験の溶接金属の衝撃試験においても、破断径路が母材側へそれ吸収エネルギー ϵ_A 値に異常値を示す (q_B ; 24 kJ/cm の場合) ことがあった。この場合の ϵ_A 値は、破断径路が溶接金属内を貫通した場合と区別して表わした。そこで溶接金属内で破断した ϵ_A 値を比較すると、それは一般に q_B 値の増大とともに低下する傾向を示した。これらの傾向は他の HT 50 および 80 溶接金属でも同様であった。

Fig. 9 は、もっとも深溶込みとなった q_B ; 81 kJ/cm, a_b ; 0.6 の条件による、HT 80 溶接金属の上部、中央部および底部の衝撃特性を比較した例を示す。他の HT 50 および 60 材でも同様の傾向を示したが、一般に溶接金属の衝撃特性は、溶込み下部になる程良好な結果を示した。なおこの場合、溶込み底部ではビード幅が狭くかつ硬化しているため、試験片の破断径路が母材側へそれることがあった。また溶接金属内で破断しているものの、

Fig. 9 Transition temperature curves for face, middle and bottom parts for deep penetrated HT80 weld metals.

Fig. 10 Relation between E_A and $H_{V,W}$ in HT50, 60 and 80 weld metals.

破面の両側面で一部 HAZ 側へそれる破断形式となることがあり、その E_A 値は母材に匹敵する高い値を示した。Fig. 10 は、種々の溶接金属にたいして得られた、 -15°C での E_A 値とその平均硬さ $H_{V,W}$ との関係を示したものである。各材と一般に $H_{V,W}$ の上昇とともに E_A 値は増加する傾向を示し、とくに HT 80 溶接金属ではその傾向が顕著であった。これは硬さが大なる場合に、上述したように衝撃破面で、一部 HAZ 側へそれる破断形式となったことによる。

4. 電子ビーム溶接施工時の諸問題にたいする検討

Fig. 11 は、Table 3 に示した 3 種の入熱条件、 q_B ；25, 36 および 60 kJ/cm による、ビード溶接部のマクロ断面写真 (HT 50 材, 25 mm 厚) を示す。3 条件のビード形状は、それぞれ電子ビーム溶接部の 3 基本形状である Wedge, Well およびワインカップタイプ (Wine-

Fig. 11 Macrophotographs of HT50 welds of q_B ；25, 36 and 60 kJ/cm.

cup type) となり、ビード幅の関係から以後それらを N, M および W 条件と呼ぶ。本項ではこれらの溶接部にたいして、施工時の諸問題を検討した。

4.1 開先間隔 (ルートギャップ) の許容度および衝撃値の改善

I 型継手内 (長さ；500 mm) に長さ 300 mm の等間隔ギャップ幅をもつよう作成した試験片によると、溶落ちのない溶接が可能であるための、ルートギャップの許容度は、N および W 条件ではそれぞれ 0.2 および 1.0 mm 程度までであった。そこでギャップの許容度を拡大するため、インサート材としてサブマージアーク用のカットワイヤ (直径；1 mm, 長さ；1 mm) を使用して溶接を行ったが、そのビード外観およびマクロ断面写真例を Fig. 12 に示す。この場合、溶接条件は W 条件とし、等間隔ギャップ幅は 2.0 mm とした。カットワイヤの成分は、0.11 C, 0.01 Si, 1.43 Mn, 0.013 P および 0.015 S (wt. %) のものを使用した。また微小電流の非収束ビームにより、ワイヤ飛散防止層を溶融形成後、本溶接を行った。ビード外観およびマクロ断面にとくに問題はみられず、また溶接部の X 線検査 (JIS Z 3104 普通級合格フィルムによる) でも、欠陥は認められなかった。さらに Fig. 13 は、試験温度 0°C における、それらの溶接金属の衝撃値を、母材または As weld の結果と比較して示したものである。切欠き位置は溶接金属中央部とし、2 mm V 切欠き標準シャルピー試験片による結果である。カットワイヤをインサート材として使用する方法により、ルートギャップの許容度の拡大が可能であるばかりでなく、その衝撃特性も母材に匹敵する程度まで大幅に改善することが可能であることがわかる。

4.2 開先条件の許容度

箱型構造物を想定した L 型継手について、溶接条件または開先条件の相違と溶接欠陥との関係を検討した。Table 4 は、L 型継手にたいして採用した 6 種の開先条

の Center および Bottom defect の 2 種類に大別された。Center defect は、 q_B 値が大となると大きな洞窟状欠陥 (Cavern defect) となった。Center defect は a_b ; 1.0 近傍で、また Bottom defect は $a_b > 1.3$ または < 0.5 の場合にしばしば発生した。

(2) W_b ; 27 kw の場合、 a_b ; 0.7 近傍において無欠陥の良好な溶接部が得られることがわかった。なおこの出力の電子ビーム溶接では、板厚 75~77 mm 程度まで無欠陥の溶接が可能である。

(3) 溶接金属 (q_B ; 81 kJ/cm) の酸素および窒素量は、母材とほぼ同程度であり、溶込み深さ方向にたいして顕著な変化は認められなかった。溶接金属の Mn 量は母材にくらべ 10% 程度減少し、その減少割合は溶込み底部になる程少なかった。

(4) 厚板溶接金属の吸収エネルギーは、 q_B 値が大なる程低下する傾向を示し、溶込み深さ方向の衝撃特性は、その上部より底部の方が良好な結果を示した。なお溶込み底部の衝撃試験では、試験片の破断径路が母材側へそれ吸収エネルギーに異常値を示すことがあった。また溶接金属の硬さが大なる程、その吸収エネルギー値は増加する傾向を示した。

(5) カットワイヤをインサート材として使用することにより、ルートギャップの許容度の拡大ならびに溶接金属の衝撃特性の改善が可能であることを明示した。またビード形状が Wedge, Well および Wine-cup type となる 3 種の溶接条件にたいする、L 型継手の開先条件の

許容度が明らかとなった。

謝 辞

本研究遂行にさいし、(株) 片山鉄工所小島鉄也氏、近畿大学 4 回生小平昭一氏ならびに大阪大学溶接工学研究所の諸兄より数々の御協力をいただき、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 荒田, 松田, 柴田, 穂積, 小野, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 1 報), 本誌 第 44 卷 (1975), 第 12 号, p. 67~73
- 2) 荒田, 松田, 柴田, 小野, 玉置, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 2 報), 本誌, 第 45 卷 (1976), 第 1 号, p. 69~75
- 3) 荒田, 松田, 柴田, 小野, 玉置, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 3 報), 本誌, 第 48 卷 (1979), 第 3 号, p. 47~54
- 4) 荒田, 松田, 柴田, 小野, 玉置, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 4 報), 本誌, 第 48 卷 (1979), 第 5 号, p. 35~44
- 5) 荒田, 松田, 柴田, 小野, 玉置, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 5 報), 本誌, 第 48 卷 (1979), 第 8 号, p. 40~48
- 6) 荒田, 松田, 柴田, 小野, 玉置, 藤平: 構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の電子ビーム溶接性に関する研究 (第 6 報), 本誌, 第 48 卷 (1979), 第 9 号, 掲載予定
- 7) Y. Arata, M. Tomie, K. Texai, H. Nagai and T. Hattori: "Shape Decision of High Energy Density Beam", Trans. of JWRI, Vol. 2 (1973), No. 2, p. 131~146
- 8) 寺井, 岡西, 黒瀬, 山田, 柏崎: 鋼の EB 溶接における合金元素の挙動について, 溶接学会全国大会講演概要 18 集 (1976), p. 238~239