《特 集 号》

溶接作業におけるコンピュータの
利用についてComputer Control Technology of
Welding Operation

論 説

溶接技術へのコンピュータの利用*

益 本 功**

Welding Technology using Computer*

by Isao Masumoto**

1. は じ め に

溶接技術は、これまで新しい溶接法の開発とその半自動、自動化および新しい溶接材の開発などを軸に発展してきた。しかし、溶接構造物を設計し、溶接技術を適用するためには、溶接法の選択、その溶接法に適した設計を行ない、また生産上必要な溶接機の台数および工場内のレイアウトを決めねばならない。さらに、各種自動溶接機の使用に際しては、溶接条件を設定しなければならない。

しかし、これまででは、こうした作業の繰返しが各工場であまりに多く、社会的、経済的な無駄も多かった。そこで、こうした溶接技術の適用をシステム工学的な方法を用いて、合理化しようという試みや主張がなされるようになった¹⁻⁴⁾。

ここでは、システム工学の方法の内、システム解析と合成の考え方について簡単に説明し、さらに、溶接技術適用の合理化に関するわが国内外の最近の進展について紹介する。

2. システムの解析と合成

システム工学の方法の内、特徴的なものの一つとし

て、システムの解析と合成の考え方について述べる^{5,6)}。

例えば、ある工場で、ある性質を持つ製品を生産するという目的が与えられたとしよう。そのためには、目的を実現するような溶接法を選び出し、溶接機の台数やレイアウト（システム）を決定しなければならない。このため、まず、種々の溶接法の特性や工場の条件、経済性などを解析する必要がある。しかし、解析だけでは不十分で、次に、目的を実現するための溶接法、溶接機の台数、レイアウトを決定しなければならない。この段階がシステムの合成である。

また、溶接条件を設定するという課題についても、目的に応じた溶接継手の幾何学的、冶金学的、力学的、経済的諸要求を満足するためには、各種溶接パラメータ間の関連性を定量的に、数学的に表現できるように解析するとともに、目的を実現するための各種パラメータの最適値を求めねばならない（合成）。

システムの解析と合成は以上のようなものであるが、システム工学の方法としてとくに重要なのは、システムの合成という考え方であり、これは、自然現象の解析を目的とする自然科学の方法のみでは扱えないものである。また、システムの解析にしても、理由はわからないが、目的実現の範囲内では現象をよく記述する数式を（例えば統計的手法を用いて）作るということが、システムの合成のためには必要である。もちろん、詳細な解析が無意味だというわけではなく、より精密なシステ

*原稿受付 昭和51年11月29日

**正 員 名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

ム、あるいはより汎用のプログラムを作成するためには、当然、理論的解析が必要になる。

3. 溶接データシステム研究委員会の活動

溶接技術の合理的適用のために、このような社会的システムを作り上げることを提案し、以前、本誌上で、ドイツ民主共和国(東ドイツ)におけるZIS(中央溶接研究所)システムを紹介したことがあるが¹⁾、最近、日本溶接協会で幾つかのメンバー会社が、このZISシステムを導入して、このようなシステム作りの土台を作り上げるために、溶接データシステム(WDS)研究委員会をスタートさせた。

WDS委員会の活動は次のようなことを目的としている。

1. 溶接技術データシステムを主要な企業および公共的に確立する基礎をつくるために、ZISで確立した溶接技術に関するアルゴリズムをわが国の電算機に入れ、出力できるように技術的翻訳をする。
2. また、ZISシステムの技術的翻訳を通じて、
 - 1) データシステムの考え方、作り方の演習
 - 2) 溶接技術に関する各種のデータシステムを確立するのに必要な、個々の研究の問題をとらえる。

このWDS委員会の活動によって、この方向でのわが国の体制が確立することを望むものである。

4. 溶接技術のアルゴリズム

さて、溶接条件の設定プログラムは、比較的簡単なものもあり、将来は、ポケット電卓にプログラムを記憶させ、溶接技術者が作業現場で使用するようなことが予想される。

また、個々のプログラムをサブルーチンのようにみなして、相互を有機的に結びつけることにより、溶接施行法と品質を考慮した設計のための大規模なプログラムシステムを作成する方法も考えられる。

最近、ZISシステムに関連して、“CO₂充填溶接のパス数と溶接パラメータ決定のための計算プログラム²⁾”という論文が発表された。

この論文は、ZISプログラムの内、CO₂充填溶接に関する3つのプログラムを紹介し、その変遷について説明したものである。最後のプログラムは、多層盛溶接を扱い、すみ肉継手と突合せ継手(VおよびX開先)の溶接パラメータおよびパス数を計算できる。

このプログラムでは、インプットデータとして、操作の種類を示す記号数字(1=全自動、2=半自動)、溶接姿勢を示す記号(1=下向、2=水平)、溶着金属断

面積、溶接長、ワイヤ径を与え、これらの値より、まず、溶着金属量を計算し、次いで、実験により求めた1パス当りの溶着断面積の最大および最小値を考慮してパス数を決めている。さらに、実験式および理論的關係式から、溶着速度、溶接速度、アークタイム、ワイヤ送給速度、溶接電流、アーク電圧を、すみ肉継手では、フィラーパスと仕上げパスについて、突合せ継手では、ルートパス、フィラーパス、仕上げパスについて、各々計算している。

このプログラムによる計算結果の例を表1および2に示す。

表1 CO₂溶接パラメータのアウトプット・プリント様式

1行:	M/T	K	P	A _s	k	d	m _s	n _s
2行:	F	A _v	I	U	v _s	v _D	t _c	
3行:	R	A _u	I	U	v _u	v _D	t _c	
4行:							t _c (Summe)	

M/T = 全自動または半自動溶接を示す記号数字 (1=全自動, 2=半自動)

K = 継手の種類 (1=すみ肉, 2=V開先)

P = 溶接姿勢 (1=下向, 2=水平)

A_s = 溶着断面積 [mm²]

k = 溶接長 [cm]

d = ワイヤ径 [mm]

m_s = 溶着金属量 [g]

n_s = パス数

F = フィラーパス数

R = 仕上げパス数

A_v = フィラーパス断面積

A_u = 仕上げパス断面積

I = 溶接電流 [A]

V = アーク電圧 [V]

v_s = 溶接速度 [cm/min]

v_D = ワイヤ送給速度 [m/min]

t_c = アークタイム [min]

t_c(Summe) = アークタイムの総計 [min]

仕上げパス断面積が零の場合には、2行だけプリントされる

表2 すみ肉および突合せ溶接の計算結果

すみ肉継手	1	1	1	9.00	100.0	1.2	70,700	1
a=3mm	1	9.00	205	24	57	5.33	1.49	
すみ肉継手	2	1	1	25.00	100.0	1.6	195,300	1
a=5mm	1	25.00	290	29	40	4.97	2.50	
V=継手	1	2	1	8.0	39.00	100.0	1.6	1.2 306 200 2
S=8mm	1	11.00	215	25	58	5.63	1.77	
	1	26.00	300	33	43	5.98	2.33	4.05
V=継手	2	2	1	62.0	90.00	100.0	1.6	1.2 706 500 3
S=12mm	1	11.00	195	22	40	3.88	2.50	
	1	64.00	250	23	23	2.31	4.05	
	1	15.00	205	24	40	2.98	2.50	3.35

このプログラムの特徴は、最適な溶接条件として、技術的に可能な最大の溶着速度となる場合を考え、これを各ワイヤ径について、実験的に求め数式化していることである。

さらに、最近のドイツ民主共和国での溶接パラメータを設定する研究として、サブマージ溶接の熱伝導からビード形状を予測するプログラムを解析的に求めようとする

る研究も行なわれ、単なる実験式のみではなく、理論式の研究も進展しているようである⁹⁾。

また、最近わが国では、自動制御に適用するための溶接条件設定アルゴリズムも研究されている。荒田らは、CO₂ ショート・アーク溶接に関し、溶接電源特性を含めた電気回路モデルと、エネルギーバランスにより、各溶接パラメータの関係を解析的に求め、短絡時間がある適正範囲内にあることを条件として、溶接パラメータの適正値を得ている¹⁶⁾。

5. 溶接パラメータへの冶金学的因子の考慮

溶接パラメータの設定は、これまで、主として、ビード形状、溶込み深さなどの幾何学的因子を考慮してなされてきた。しかし、アーク電圧、溶接電流、溶接速度から溶接入熱が計算でき、さらに、板厚、材料定数などの条件を考慮して、冷却速度が計算できる。溶接入熱や冷却速度と、溶接部の組織や硬度などの冶金学的因子との関連を定量的に把握できれば、こうした因子を考慮して溶接パラメータを設定できるであろう。

冷却速度と熱影響部の組織や硬度との関係を数式化しようという研究が、アメリカやソ連などの各国で進められている¹²⁻¹⁴⁾。

また、溶接金属水素含量を予測する数学モデルに関する研究も進められている¹⁵⁾。

6. 溶接法の選択と溶接構造物の設計

わが国の溶接条件の設定に関するアルゴリズムの研究は定着してきているように思われる。今後さらに、溶接法の選択、さらには、工場内での溶接機の数やレイアウトの設計、また、溶接構造物の設計に関するアルゴリズムの研究が進展するであろう。

材料、板厚と、溶接法や開先形状との組合せに対し、電算機に判定マトリックスを記憶させ、ある製品を溶接したい場合に、どの溶接法および開先形状が適しているかを、この判定マトリックスから求める方法が、わが国および諸外国でも検討されつつある。

例えば、B.E. Gorenc らは、1976年の I I W で、こうした方法による最適な継手形状の選定法について報告している⁹⁾。

また、イギリス溶接研究所の A.A. Smith は、1976年の I I W で、“溶接法の選択”について報告している¹⁰⁾。

この論文で興味深い点は、第一に、表の形にまとめた“標準データ (Standard Data)” (表3参照) と、コスト計算などの計算プログラムとを結びつけて利用していることである (図1参照)。計算プログラムは、BASIC 言語を用い、会話形の入出力様式 (プログラムからの問

表3 英国溶接研究所の資料による“アーク溶接の標準データ”

板厚	別国参照	パス数	溶接電流	アーク電圧	ワイヤ送給速度	溶接長1m当りの溶接金属量	溶接長1m当りのワイヤ消費長さ	溶接長1m当りの溶接準備時間	溶接速度(m/時間)	溶接長1m当りのアーク・タイム	溶接長1m当りのアーク・タイム
2.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
3.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
4.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
5.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
6.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
7.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
8.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
9.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
10.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
11.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
12.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
13.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
14.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
15.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
16.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
17.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
18.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
19.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1
20.0	4	1	15	15	0.01	0.85	23.1	2.1	2.1	2.1	2.1

スタート
ENTER PROCESS. E.G. 'MMA', 'CO2', 'MIG', 'FCW', 'SUB', OR 'TIG' AS? SUB
TYPE OF WELD: FILLET OR BUTT (A1)? BUTT 計算機言語はBASICプラス。
ASは「変数」
ENTER WELD DIMENSIONS. ZERO MAY BE ENTERED FOR ANY DIMENSION EXCEPT ALATE
THICKNESS, & MUST BE ENTERED FOR ANY REDUNDANT DIMENSIONS.
PLATE THICKNESS - MM. (B2)? 32
GAP - MM. (B3)? 1
ROOT-FACE - MM. (B4)? 2
BEVEL ANGLES - DEGREES (B5 & B6)? 15, 15
MINOR BEVEL ANGLES - DEGREES (B7 & B8)? 0, 0
BEVEL INTERSECTIONS - MM. (B9 & B0)? 0, 0
ROOT RADIUS - MM. (A & A1)? 7, 7
ELECTRODE WIRE OR FILLER ROD DIAMETER - MM. (D)? 3, 2
ENTER COST FACTORS. DEFAULT SETTINGS ARE AVAILABLE FOR ALL FACTORS, BUT FOR THE
FIRST FOUR ARE FOR DEMONSTRATION RUN PURPOSES ONLY. DEFAULT SETTINGS FOR FACTORS
E2, E3, E4, E6, & E8 ARE IN STERLING UNITS, AND MUST BE ACCEPTED IF ANOTHER
CURRENCY IS USED
FOR CURRENCIES SUCH AS LIRA & YEN ENTER E2, E3, & E4 IN CURRENCY UNITS, AND E6 &
E8 IN HUNDREDS OF UNITS. FOR MOST OTHER CURRENCIES ENTER E2, E3, & E4 IN CURRENCY
SUB UNITS, AND E6 & E8 IN CURRENCY MAJOR UNITS.
CURRENCY SUB-UNIT? CENTS
CURRENCY MAJOR UNIT? DOLLARS
WELD LENGTH - METRES (E0)? 5000
NO. OF WELDERS OR WELD POINTS (E1)? 4
NO. OF UNITS OF PRODUCT IN TIME (E5)? 2
PRODUCT IN TIME UNITS - YEARS, MONTHS, WEEKS, DAYS, OR HOURS (E6)? MONTHS
ARCING DUTY CYCLE AS DECIMAL (E)? 0.75
ROD OR WIRE COST - CENTS/KWH (E2)? 6.5
ELECTRICITY COST - CENTS/KWH (E3)? 2.5
LABOUR COST - CENTS/MAN-HR (E4)? 650
MACHINE CAPITAL COST (INCL. INSTALLATION) - DOLLARS (E6)? 6900
TIME TO DEPRECIATE TO ZERO - YEARS (E7)? 3
MAINTENANCE COST PER MACHINE - DOLLARS PER YEAR (E8)? 750
計算が開始し、コストをプリントする。

WELD COSTING

AVERAGE ELECTRODE OR FILLER ROD COST = 6.500 CENTS/METRE
ELECTRICITY COST = 2.500 CENTS/KWH
LABOUR COST (INCLUDING OVERHEADS) = 650 CENTS/MAN-HOUR
MAINTENANCE & PLANT COST PER HOUR = 153.212 CENTS/HOUR
TARGET OUTPUT RATE = 3.351 METRES/HOUR PER WELD POINT
AVAILABLE SHOP HOURS = 352
HENCE WELDING COST = 1217.16 CENTS/METRE OF WELD

図1 サブマージアーク、J型突合せ継手に関するコスト計算のプリント。(アンダーラインは、オペレーターの返答)

に、逐次、オペレータがテレタイプより答えるという形)を用いている。もしも、プログラムからの問に解答が無い(キャレレッジ・リターン・キーを押す)場合には、プログラムは、自動的に“標準データ”より、必要なデータを読み込むようになっている。

コスト計算プログラムを、いくつかの溶接法に対し、

同じ溶接条件で計算すれば、もっとも経済的な溶接法が選択できる。

第二に、種々の溶接法を、継手寸法について整理し(図2参照)、さらに、各溶接法のエネルギー密度とルート部での溶接金属プール径との関係を示している(図3参照)。

図2 各種溶接法の代表的継手寸法—突合せ溶接

図3 図2に示した溶接法のエネルギー密度と、ルート部での溶接金属プール径との関係

第三に、実際の継手精度に誤差が生じることを考慮して、適用できる溶接法の寸法公差を(Process Tolerance)見積ることの重要性を指摘している。

また、この寸法公差を、靱性を考慮した許容欠陥の大きさ(Defect Tolerance)と相互に関連させて、溶接施工条件を、溶接継手の力学的因子すなわち溶接品質を考

図4 溶接法の継手寸法公差と品質を考慮したパラメータ設定法

慮して設定する可能性を指摘している(図4参照)。

さて、最近、溶接継手の品質による疲労強度を考慮した溶接構造物の安全設計のためのアルゴリズムとして、ある寸法と断面力を与えて、溶接構造物の安全性を伴定することも検討されている。

コンピュータを用いた設計法について、1976年のIIWでは、H.B. Harrisonが、“鋼構造のコンピュータ・デザイン”を報告している。

7. む す び

以上述べたように、すでに溶接技術へのコンピュータの利用は、単に文献探索システムといったデータ処理的な内容にとどまらず、溶接技術の適用という技術的課題についても現実化してきている。また、その適用範囲は、溶接パラメータの設定から、溶接構造物の設計や溶接法の選択にまでおよんでいる。さらに電算機を利用した溶接プロセスの制御にも多くの研究あるいは提案がある。

最近のコンピュータの発展および普及はめざましいものがあり、会話形の入出力様式が使えるなど、手軽に使えるようになってきた。また、ポケット電卓にしても、伴定およびジャンプが可能になるなど、高性能で、安く入手できるようになり、近い将来に溶接技術者がポケット電卓を持ち歩くことも常識化するであろう。

また、溶接データシステムを公共的に確立し、社会的利用に供することも、溶接技術者、研究者の大きな課題であり、また、急務であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 益本, 篠田: “溶接技術の社会的合理化”, 溶接学会誌, 45(1976), No. 3, p. 14~19

- 2) 増淵：“コンピュータと溶接”，溶接技術，22 (1974)，No. 1，p. 34~37
- 3) 稲垣：“溶接技術の課題 とくに溶接のシステム化について”，溶接技術，23 (1975)，No. 7，p. 63~67
- 4) ギルデ：“新しい溶接方法の発明のためのホイリスティックの適用”，溶接学会誌，43 (1974)，No. 5，p. 52~57
- 5) 矢木，西村：“化学プロセス工学”，丸善
- 6) 佐々木：“基礎システム工学”，共立出版
- 7) E. Naumanu, D. Schilling；“Rechenprogramm zur Ermittlung der Lagenzahl und der Schweißparameter beim CO₂-Füllschweißen”，ZIS-Mitteilungen Halle 18 (1976)，No. 8，p. 780~786
- 8) P. Seyffarth；“Auswahl und Begründung der Schweißdaten beim UP-Schweißen unter Anwendung verallgemeinerter Komplexer Variablen”，Schweißtechnik 26 (1976)，No. 9，p. 391~394
- 9) B.E. Gorenc, B.E. Civ., F.I.E. Aust.；“Selection of Optimal Weld Types”，IIW (1976)
- 10) A.A. Smith；“Choice of Welding Processes”，IIW (1976)
- 11) H.B. Harrison；“Computer Design of Steel Structures”，IIW (1976)
- 12) B.A. Graville；“Weld Cooling Rates and Heat-Affected Zone Hardness in a Carbon Steel”，Welding Journal 52 (1973)，No. 9，p. 377s~385s
- 13) R.A. Mueller, D.G. Howden, F.B. Simmons；“HAZ Thermocycle and Structure Simulation”，Welding Journal, 52 (1973)，No. 9，p. 411s~416s
- 14) Е.М. Кузмак；“Оптимизация параметров термического цикла сварки термически упрочненной стали 10Г2ФР по ударной вязкости”，《СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО》No. 4, 1976, p. 18~20
- 15) B. Chew；“Prediction of Weld Metal Hydrogen Levels Obtained under Test Conditions”，Welding Journal, 52 (1973)，No. 9，p. 386~391
- 16) 荒田，丸尾，井上，近藤：“アーク溶接の自動制御(第Ⅺ報)—CO₂ ショートアークの条件設定アルゴリズム—”，溶接学会全国大会講演概要集，第19集 (1976)，p. 290~291