

職業能力開発の実践

—熱加工プロセス技能者の生産コスト意識,改善意識高揚化に向けての取り組み—

ポリテクセンター広島 テクニカルメタルワーク科
(広島職業能力開発促進センター)

野原 英孝

1. はじめに

長引く景気低迷を背景に、製造業では生産工程の合理化やコストダウンの要求が一層強くなってきている。特に、現場の最前線で働いている技能工のコストに対する意識、改善意識は企業が望むマインドの1つにあげられ、また、これらの意識はコンピテンシーの具体例として能力評価（人事考課）の項目に導入されているケースが多く見受けられる。

このような社会的企業ニーズに対応するため、製造業における生産コスト（単位長さ当たりの加工コスト）という視点から意識改善のための訓練内容を検討してみた。目的とするところは、訓練生にもものづくり工程におけるコスト構造を理解させ、コストに対する意識を芽生えさせると同時にコストダウンのためのきっかけづくりをすることである。

本報では、ものづくりの最も重要な基幹技術である溶接技術およびその関連の熱加工技術（以降、総称して“熱加工プロセス技術”と呼ぶ）を題材として取り上げた。

2. 熱加工プロセス技術の概要とコストの考え方

図1は、金属加工製造業における製造工程の一例を示したものである。このなかで熱加工プロセス技術は、熱切断、溶接および補修作業の3工程で使用される。本報では、これらの工程における熱加工コ

ストを個々にとらえ、プロセスごとに検討することとした。

一般に、熱加工コストは次の要素から成り立つ。

- (a) 消耗品
- (b) 人件費
- (c) 電力費
- (d) 設備償却費
- (e) 保守費

このうち、(a)は電極（溶接用ワイヤや溶接棒等）、ガスおよびトーチの消耗部品である。(d)(e)は、設備の規模や稼働率等が大きく作用するため一律に論ずることが困難であるが、これらは全体の数%程度という報告例¹⁾もあり、ここではこれらを除いた費用、すなわち(a)+(b)+(c)を熱加工コストとして定義することにした。また、コスト計算に際しては、表計算ソフトMicrosoft® Excelを活用した。

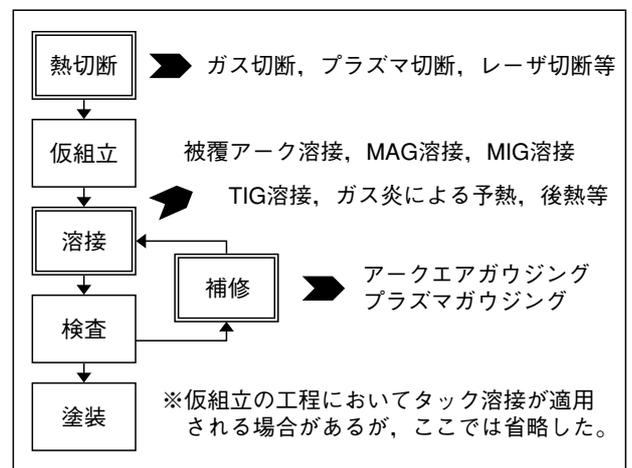


図1 金属加工製造業における熱加工プロセスの例

3. 熱切断工程のケース

溶接製造で使用される金属材料の熱切断において、最もよく使用されているプロセスはガス切断法とプラズマ切断法である。平成10年に社団法人日本溶接協会が実施したアンケート調査報告²⁾によれば、両者で熱切断市場の大半を占めていることが明らかになっている。そこで両者の熱加工コストを、施工条件のなかでも重要因子である被切断材の板厚によって比較できるモデルを考えてみた。

表1は、板厚が16mm^tの軟鋼材（切断長1mの繰返し切断）の熱加工コストを試算したものである。

なお、ガス切断の比較対象となっているプラズマ切断は、現在最も多く普及している“エアプラズマ切断法”を採用し、切断機の容量は定格出力電流80Aの普及機（中厚板分野）と市販機ではほぼ最大

出力の120A機を併せて示している。

ガス切断では、原理的に電力費はかからないため、ガス代が主たる消耗品費としてかかってくる。また、エアプラズマ切断では、圧縮空気を使用するためガス代がかからないが、コンプレッサと切断電源の電力費と電極、チップ（拘束ノズル）の消耗品費がかかる。人件費は、両者とも全体に対して大きなウエイトを占めている。これは主として切断速度に依存している。

図2は、表1の計算方法をもとに各板厚での熱加工コストを整理したものである。エアプラズマ切断は、板厚が薄くなるほどガス切断より切断速度が上がり、これが大きく寄与して熱加工コストが低減する。逆に板厚が厚くなるほど、ガス切断よりコストが高くなる傾向がある。

以上の結果から、表1および図2の手法を表計算ソフトに置換することで訓練生に対して、「各プロセ

表1 熱加工コスト試算例（板厚16mm^t）

項目			ガス切断	エアプラズマ切断		備考	
				120A機	80A機		
人件費	プリアフタフロー／火炎調整	sec	10.0	5.0	5.0	人件費単価	
	予熱時間	sec	10.0	-	-	2500 円/h	
	切断速度	cm/分	40.0	120.0	60.0	アセチレン単価	
	切断時間	sec	150.0	50.0	100.0	1.25 円/トル	
	切断に要する時間	sec	170.0	55.0	105.0	酸素単価	
	小計	円/m	118.1	38.2	72.9	0.35 円/トル	
消耗品費	ガス	アセチレンの流量	トル/分	5.0	-	-	ガス吹管の火口
		アセチレンの使用量	トル	14.2	-	-	550 円/個
		アセチレン代	円/m	17.7	-	-	プラズマ電極、チップ
		予熱用酸素の流量	トル/分	7.0	-	-	1000 円/組
		切断用酸素の流量	トル/分	26.0	-	-	コンプレッサ
		酸素の使用量	トル	66.2	-	-	2.2 kw
		酸素代	円/m	23.2	-	-	切断電源（80A機）
	小計	円/m	40.9	-	-	14.2 kw	
	トーチ部品	電極、チップ、火口の寿命	回/個組	1000	100	100	切断電源（120A機）
		小計	円/m	0.6	10.0	10.0	27.5 kw
消耗品費計		円/m	41.4	10.0	10.0	電力単価	
電力費	コンプレッサ	円/m	0.0	0.8	1.5	23.2 円/kwh	
	切断電源	円/m	0.0	8.9	9.2		
	小計	円/m	0.0	9.6	10.6		
総合計		円/m	159.5	57.8	93.6		

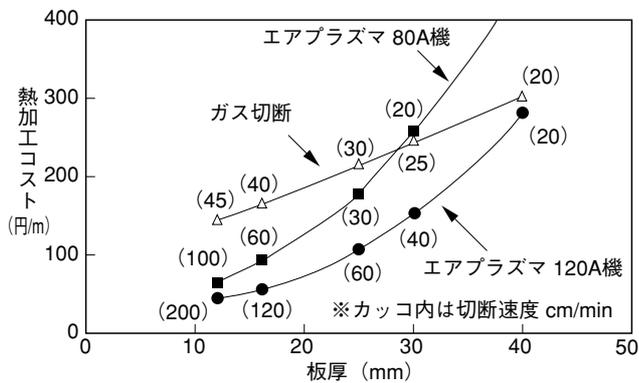


図2 ガス切断とプラズマ切断の熱加工コスト比較

「そのどこにどれだけコストがかかっているのか?」, 「コスト増の要因は?」, 「板厚による各熱切断法のすみ分け」等を十分に認識させることが可能である。

写真1は、職業訓練で実践している様子である。走行台車による自動切断法にて、切断溝のテーパがほぼ垂直になる最大の切断速度（ガス切断面の品質基準WES2801の1, 2級クラスを満たす最大切断速度）を板厚ごとに求めさせている。次に、得られたデータを表1の手法にて、表計算ソフトにより板厚ごとの熱加工コストを試算、得られた結果から図2相当のグラフを作成させている。

4. 溶接工程のケース

溶接工程における熱加工プロセスには、仮付溶接（タック溶接）、本溶接、熱処理（予熱、後熱等）があげられるが、ここでは本溶接のみを取り扱い、また、溶接法においては最も需要の多い“アーク溶接法”を取り上げることとする。

4.1 基本モデル（被覆アーク溶接とMAG溶接）

図3は、最近10年間のアーク溶接用材料の生産推移を示したものである。主としてMAG溶接用として使用されるソリッドワイヤ、コアードワイヤ（フラックス入りワイヤ）、被覆アーク溶接棒の順に生産量が多く、鉄鋼系材料の溶接においては被覆アーク溶接とMAG溶接の存在は必要不可欠である。

そこで、まず基本モデルとして両者の熱加工コストが比較できるものを考えてみた。

写真2は、コスト算出のためのデータ取りに使用

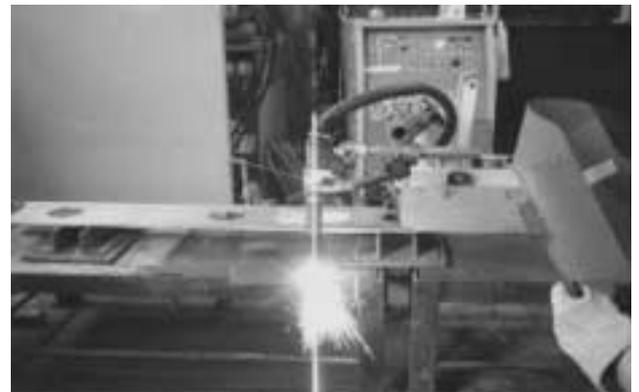


写真1 自動プラズマ切断法による実験風景

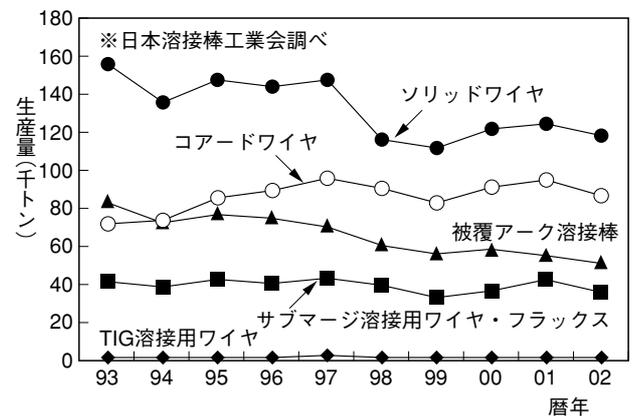


図3 アーク溶接用材料の生産推移

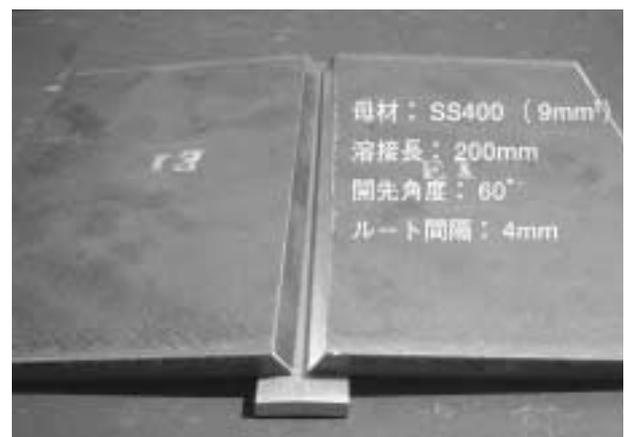


写真2 熱加工コスト試算に用いた試験材

した試験材の外観である。本試験材の開先形状や各部の寸法は、JIS Z 3841半自動溶接技能者評価試験に使用される中板（板厚9mm²）、裏当金有りと同等のものである。また、データ取りに際しての溶接はすべて手動で実施し、溶接オペレータには、被覆アーク、MAG溶接法ともにJIS溶接技能者評価試験合格レベルの技能者を選出した。

表2に、実測した溶接条件と加工に要する時間を

表2 溶接条件と加工に要する時間

	被覆アーク溶接				MAG溶接			
	溶接棒 D4301 (φ4.0)				ワイヤ YGW12 (φ1.2), 炭酸ガス			
	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接時間 (分)	スパッタ、スラグの除去 (分)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接時間 (分)	スパッタ、スラグの除去 (分)
初層	190	28.5	0.88	1.08	230	24.0	0.57	0.72
2層目	180	27.0	1.22	1.03	210	24.0	0.68	0.78
3層目	170	27.0	1.25	1.05	180	23.0	0.83	0.92
4層目	160	26.5	1.27	1.05	-	-	-	-
5層目	150	25.5	1.40	1.25	-	-	-	-

表3 熱加工コスト試算結果

項目		被覆アーク溶接	MAG溶接	備考	
人件費	アークタイム	分	6.02	人件費単価	
	付着スパッタ、スラグの除去時間	分	5.47	2500 円/h	
	作業時間	分	11.48	溶接長さ	
	試験材1枚当りの人件費	円	478.5	200 mm	
	小計	円/m	2392.4	炭酸ガス流量	
消耗品費	ガス	炭酸ガス使用量	リットル	-	20 リットル/分
		試験材1枚当りのガス費	円	-	炭酸ガス単価
		小計	円/m	-	0.20 円/リットル
	棒 ワイヤ	必要な溶接金属量	Kg	0.14	余盛係数 鋼の比重
		棒, ワイヤ使用量	Kg	0.23	1.1 7.8
		試験材1枚当りの棒, ワイヤ費	円	64.2	溶接棒、ワイヤの溶着率
		小計	円/m	320.8	0.6 0.9
	トーチ 部品	チップの寿命	h	-	溶接棒単価
		小計	円/m	-	275 円/kg
	消耗品費計		円/m	320.8	ワイヤ単価
電力費	溶接時の電力量	kwh	0.45	220 円/kg	
	試験材1枚当りの電力費	円	10.5	チップ	
	小計	円/m	52.5	70 円/個	
総合計		円/m	2765.7	電力単価 23.2 円/kwh	

表4 各種溶接法の適用性吟味 (比較対象は炭酸ガスによるMAGソリッドワイヤ法)

溶接法	溶接効率	低スパッタ	低スラグ	判定	備考
MAGメタルコアードワイヤ法	◎	○	×	適	スラグ多いが剥離性が極めて良好
MAG混合ガス溶接法	△	○	○	不適	初層に融合不良を生じ易く不可
パルスMAG溶接法	○	◎	○	適	要件をすべて満たす
ホットワイヤTIG溶接法	×	◎	◎	不適	磁気吹きのため加熱電流の上限に限界

※1 表中の記号は次のとおり ◎:優れている ○:やや優れている △:ほぼ同じ ×:劣っている
 ※2 本件は、汎用機でかつ手動による溶接を考えているため、サブマージ溶接法は、候補に入れていない。

示す。各溶接法による積層方法は、この試験材において標準的に施工されている方法を適用した。すなわち、被覆アーク溶接による施工では5層5パス仕上げに、炭酸ガスを使用するMAG溶接(ソリッドワイヤ法)では3層3パス仕上げである^{3) 4)}。

表3に、熱加工コストの試算結果を示す。熱切断工程と同様に、ここでも全体に占める人件費の割合が高い。よく知られているように、MAG溶接は被覆アーク溶接に比べ高能率溶接法であることから両者の差は歴然としているが、ここで注目すべきは母材

に付着したスパッタ、スラグの除去に要する時間である。MAG溶接、被覆アーク溶接ともに溶接時間（アークタイム）と同じオーダーでかかっており、作業時間を大幅に上げ、これが人件費増大に寄与していることがわかる。すなわち、熱加工コストを低減させるためには、スパッタやスラグを少なくすると同時に高速、高溶着となる溶接法を選択すればよいことになる。実際の職業訓練教育においてはこの選択に新QC 7つ道具を用いることが効果的と思われる。

表4は、簡易的なマトリックス図により検討した結果で、熱加工コスト低減のための手段として、MAGメタルコアードワイヤ法、パルスMAG溶接法の適用が考えられる。

4.2 MAGメタルコアードワイヤ法とパルスMAG溶接法によるコスト低減の効果

表5は、MAGメタルコアードワイヤ法およびパルスMAG溶接法により検討した溶接条件と加工に要する時間である。MAGメタルコアードワイヤ法では、溶接電流に対する溶着金属量がMAGソリッドワイヤ

法より多いため2層2パス溶接が可能となった。一方、パルスMAG溶接法では、2層2パス溶接を実現するため高溶接電流での検討を試みたが、溶接電流を高くするとパルススプレー移行に起因したフィンガー型の溶込みが顕著となり、母材開先面に融合不良を起こす可能性があることがわかった。このため3層3パス仕上げとした。1パスごとの溶接速度は、かなり速い。

写真3は、両溶接法のスパッタ発生量を被覆アーク溶接法、MAGソリッドワイヤ法とで比較したものである。MAGメタルコアードワイヤ法、パルスMAG溶接法ともにスパッタの発生が極めて少なく、これを除去する時間がかなり低減される。

なお、パルスMAG溶接法は、適正な条件で施工すればスパッタは限りなくゼロに近づくが、トーチ操作に関して必要以上に前進角をとると、パルス電流によるワイヤからの溶滴が溶融プール前方に押し出され、結果として球状のスパッタ⁵⁾となって溶接ビード周囲に付着するので十分な注意が必要である。

表6に、熱加工コストの試算結果を示す。前項に示したMAGソリッドワイヤ法と比べると両溶接法と



写真3 各種アーク溶接のスパッタ発生量の比較

表5 溶接条件と加工に要する時間

	MAGメタルコアードワイヤ法				パルスMAG溶接			
	ワイヤYFW-C50DM(φ1.2), 炭酸ガス				ワイヤYGW15(φ1.2), 80%アルゴン+20%炭酸ガス			
	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接時間 (分)	スパッタ,スラグの 除去(分)	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接時間 (分)	スパッタ,スラグの 除去(分)
初層	270	24.0	0.77	0.13	230	27.0	0.50	0.05
2層目	270	24.0	0.98	0.15	220	26.5	0.53	0.05
3層目	-	-	-	-	220	26.5	0.58	0.05

表6 熱加工コスト試算結果

項目		単位	MAGメタル コアードワイヤ法	パルスMAG溶接	備考	
人件費	アークタイム	分	1.75	1.62	人件費単価	
	付着スパッタ,スラグの除去時間	分	0.28	0.15	2500 円/h	
	作業時間	分	2.03	1.77	溶接長さ	
	試験材1枚当りの人件費	円	84.7	73.6	200 mm	
	小計	円/m	423.6	368.1	炭酸ガス単価	
消耗品費	ガス	シールドガス使用量	リットル	35.0	32.3	0.20 円/リットル
		試験材1枚当りのガス費	円	7.0	21.3	Ar 炭酸混合ガス単価
		小計	円/m	35.0	106.7	0.66 円/リットル
	棒 ワイヤ	必要な溶接金属量	Kg	0.14		余盛係数 鋼の比重
		ワイヤ使用量	Kg	0.15	0.14	1.1 7.8
		試験材1枚当りのワイヤ費	円	49.4	31.4	ワイヤの溶着率
		小計	円/m	246.8	157.1	0.95 0.98
	トーチ 部品	チップの寿命	h	0.33	0.33	コアードワイヤ単価
		小計	円/m	6.13	5.66	335 円/kg
	消耗品費計		円/m	288.0	269.5	ソリッドワイヤ単価
電力費	溶接時の電力量	kwh	0.19	0.16	220 円/kg	
	試験材1枚当りの電力費	円	4.4	3.7	チップ	
	小計	円/m	21.9	18.6	70 円/個	
総合計		円/m	733.5	656.1	電力単価 23.2 円/kwh	

もに、アークタイムおよびスパッタ、スラグの除去に要する時間が短縮されており、人件費だけでMAGソリッドワイヤ法の半分以下となっている。特にパルスMAG溶接法の効果が大きく、高価なアルゴン炭酸混合ガス費用を十分にカバーしている。結果的には、MAGソリッドワイヤ法と比べると、MAGメタルコアードワイヤ法で約38%、パルスMAG溶接法で約44%ものコスト低減となった。

写真4は、職業訓練で実践している様子である。表3および6の手法を表計算ソフトに置換させ、計算させている。



写真4 Excelによる熱加工コスト試算演習

4.3 MAG溶接のワイヤ溶融特性とワイヤコスト MAG溶接やMIG溶接に代表されるガスメタルア

ク溶接 (GMAW) では、これまでの例にみられるように溶接ワイヤのコストが人件費の次に多く、金属加工現場においてワイヤの消費量 (コスト) を見積

ることは必要不可欠になっている。

ワイヤの消費量（コスト）の見積り方法としては、継手の形状から必要な溶着金属量を幾何学的に求める方法と、溶接機器の構成要素であるワイヤ送給装置の送給特性（ワイヤ溶融特性）を調べることにより求める方法がある。前者は、これまでの例で紹介したような多層盛溶接に採用されることが多く、後者は、自動溶接による1パス溶接に採用すると便利である。ここでは、後者を実践した事例を紹介する。

よく知られているように、GMAWのワイヤ溶融速度は、ワイヤ端におけるアークの直接加熱とチップからの突出し部分におけるジュール加熱により決定される。直流アークにおけるワイヤ溶融速度は、Halmoyによって次式のように物理的意味づけがなされている⁶⁾。

$$Vf = \frac{1}{Ho-b} (\phi j + aj^2Ex) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Vf：ワイヤ溶融速度 (mm/sec)
 j：電流密度 (A/mm²)
 Ex：ワイヤ突出し長さ (mm)
 Ho：溶滴の保有熱量 (J/mm)
 φ：アーク加熱の等価電圧 (V)
 a, b：ワイヤ固有の定数 (Ω・mm, J/mm)

(1) 式は、溶接電流を I とすると

$$Vf = AI + BEI^2 \dots\dots\dots (2)$$

の形 (A, Bは比例定数) をとることになり、ワイヤ突出し長さが一定の条件で溶接電流ごとのワイヤ溶融速度を測定すれば、回帰分析によりワイヤ溶融特性を求めることが可能である。なお、パルス溶接法については(1)(2)式の第2項中の j², I²に実効電流値の2乗を適用する必要がある⁶⁾。

また、ワイヤコストは(2)式を利用して次のように求めることができる。すなわち、与えられた溶接電流 I (A)、溶接速度 v (cm/min) に対して、

$$Cw = 3 \gamma W \pi d^2 Vf / 20 \eta v$$

$$= 3 \gamma W \pi d^2 (AI + BEI^2) / 20 \eta v \dots (3)$$

ここで Cw：ワイヤコスト (円/m)
 d：ワイヤ径 (mm)
 γ：ワイヤの比重 (g/cm³)
 η：ワイヤの溶着率 (%)
 W：ワイヤの単価 (円/kg)

通常、ワイヤ溶融速度は、溶接中にワイヤ送給装置の送給ロールの回転数を測定し、ロールのワイヤ接触部の円周長を積算することで求められる。なおMAG溶接は、機器の特性上手ぶれ等の外乱によるトーチ高さの変化、言い換えればワイヤ突出し長さの変化によって溶接電流が変動するため、ワイヤ溶融速度の測定に際しては自動溶接を行う必要がある。

図4は、表計算ソフトExcelを用いて炭酸ガスによるMAGソリッドワイヤ法（ワイヤ径φ1.2）のワイヤ溶融特性を求めたものである。回帰分析した結果、決定係数のR²値が0.9973となり、満足のいく結果が得られた。

このように、ワイヤ溶融特性はExcelの回帰分析機能を使うことで簡単に求めることができ、効果、効率的な訓練を実施することができた。

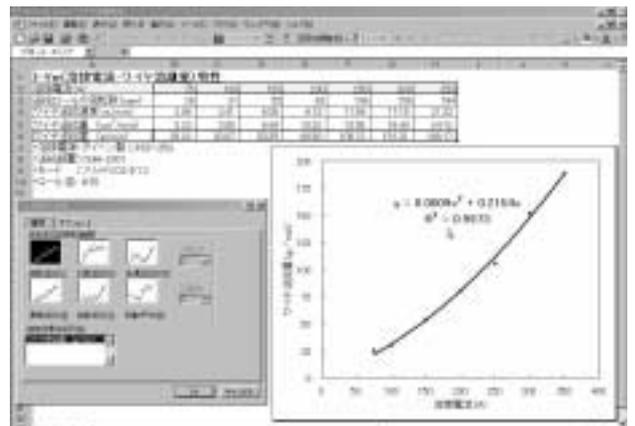


図4 Excelによるワイヤ溶融特性の算出

5. 補修工程のケース

ここでの工程は溶接後の検査（非破壊検査）によって溶接欠陥が認められ、これを除去する工程である。また、多層盛溶接では検査によらず初層溶接部を除去する工程（裏はつり工程）を実施する場合があるがこれも含まれる。ここでは、物理的にみて、

はつり長が長く、多大な熱加工コストがかかると考えられる“裏はつり”を取り上げることとする。

この工程における熱加工プロセスとしては、現在、アークエアガウジング法が最も一般的に採用されている⁷⁾。図5に、その原理を示すが、この方法は、銅メッキした炭素棒を電極として、電極-母材間にアークを発生させ、熔融金属を電極に沿って噴出された圧縮エアによって吹き飛ばして溝を形成させる方法である。

一方、プラズマ切断技術を応用したプラズマガウジング法が、近年開発⁸⁾され、一部大手造船所を中心に適用されている。そもそもプラズマガウジング法は、アークエアガウジング法の欠点である作業環境の問題、すなわち「ガウジング時に発生するヒューム、粉塵の量が多い」、「ガウジング時に発生する騒音が大きい」等を改善するために開発された背景があり⁸⁾、経済性を詳細に報告した文献が見当たらない。そこで、両ガウジング法の熱加工コストを試算、比較してみた。

表7に、その結果を示す。この表では、多層盛溶

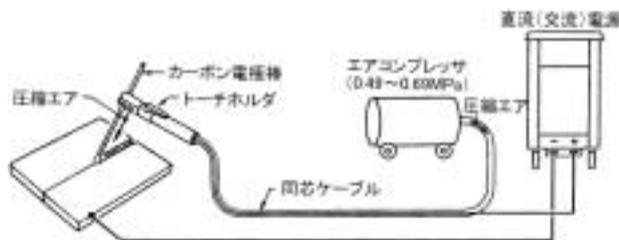


図5 アークエアガウジング法の原理

接の初層溶接部の除去を想定して、幅12mm、深さ6mmの溝をガウジング（はつり長1m）するのに要する熱加工コストを試算している。

これによれば、アークエアガウジング法においてアークタイム以外の作業時間がかかりかかっていることがわかる。これは、原理的に次のような欠点を持っているからである。

- ・炭素電極棒が消耗するうえに、作業上トーチホルダ掴み部からアーク発生部までの距離を100mm程度設定する必要があるため、電極棒の持ち替えや取り替えの必要がある。
- ・アークが膨張、収縮を繰り返すことに加え圧縮エアを使用するため、溝表面が酸化、窒化を呈する

表7 熱加工コスト試算結果

項目		単位	アークエア ガウジング	プラズマ ガウジング	備考	
人件費	ブリー/アフターフロー	sec	-	2.0	人件費単価	
	アークタイム	sec	110.0	120.0	2500 円/h	
	電極棒の持替え、取替えに要する時間	sec	60.0	-	アルゴン水素混合ガス単価	
	溝面の2次加工に要する時間	sec	310.0	-	0.93 円/本	
	溝周辺に付着したスラッグの除去時間	sec	32.0	28.0	電極棒 (φ8×305)	
	はつり工程の総時間	sec	512.0	150.0	80 円/本	
	小計	円/m	355.6	104.2	電極棒の持替え時間	
消耗品費	ガス	アルゴン水素混合ガスの流量 (ブリー/アフターフロー時)	リットル/分	-	100.0	3回/本×4sec
		アルゴン水素混合ガスの流量 (アーク発生時)	リットル/分	-	40.0	電極棒の取替え時間
		アルゴン水素混合ガスの使用量	リットル	-	83.3	4sec/本×3回
	小計	円/m	-	77.5	プラズマ電極、チップ	
	電極棒	ガウジング電極棒の使用本数	本	4	-	750 円/組
		小計	円/m	320.0	-	コンプレッサ
	トーチ 部品	電極、チップの寿命	回/組	-	1000	2.2 kw
		小計	円/m	-	0.8	ガウジング電源 (500A機)
	消耗品費計		円/m	320.0	78.3	26.9 kw
	電力費	コンプレッサ	円/m	7.3	-	プラズマ電源 (120A機)
切断電源		円/m	19.1	26.0	33.6 kw	
小計		円/m	26.3	26.0	電力単価	
総合計		円/m	701.9	208.4	23.2 円/kwh	

と同時に電極棒からのカーボンが付着し、これが溶接欠陥の原因となるため、グラインダー等の機械的手法を用いての2次加工が必要である。

一方、プラズマガウジング法は、不活性ガスシールド雰囲気中で安定したアークが連続的に供給される非消耗電極型の加工法であるため、上記欠点がクリアされ、作業時間は、ほぼ実質のガウジング時間（プラズマガスのプリー、アフターフロー時間+アークタイム）だけで済むことになる。結果的に、これが起因して人件費がアークエアガウジング法の約29%となり、高価なアルゴン水素混合ガスを使用しているにもかかわらず、熱加工コストでアークエアガウジング法の約30%となった。

写真5は、職業訓練にてプラズマガウジング法を実施している様子である。連続アークでかつ非消耗電極型であるのでオペレートしやすく、またガウジング時に発生するヒューム、粉塵、騒音レベルがかなり低減されており、訓練生からの評判がよい。

写真6は、厚板軟鋼の多層盛溶接の裏はつりを断面マクロで示したものである。訓練生の手動によるプラズマガウジング法で施工しているが、半円形状の良好なガウジング溝を得ている。

図6は、Excelによる熱加工コスト試算例で、表7の手法を取り入れている。

このように、補修工程における熱加工コストを、アークエアガウジング法のみならず、プラズマガウジング法のような最先端のプロセス技術も含めて、訓練生に体験させながら計算させ、コスト構造を把握、認識させることができた。

6. 訓練の成果

本テーマの内容は、平成14年度から在職者訓練（能力開発セミナー）に、取り入れている。

図7に、受講者満足度（CS）を調査した結果を示す。受講者の内訳は、おおむね経営者、管理者層が2割、一般従業員（技能工）層が8割であったが、全員の方がセミナーの内容に満足していただくことができた。

経営者、管理者からは次のようなコメントをいた



写真5 プラズマガウジングの実施状況

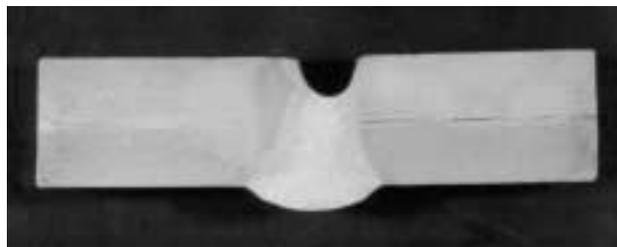


写真6 プラズマガウジングによる裏はつりの例

 A screenshot of an Excel spreadsheet titled '裏はつり工程のガウジングコスト試算' (Cost Estimation for Grooving Process). The spreadsheet contains a table with columns for '項目' (Item), '単価' (Unit Price), '数量' (Quantity), and '備考' (Remarks). It lists various costs associated with the grooving process, such as labor, materials, and equipment.

図6 Excelによる熱加工コスト試算例

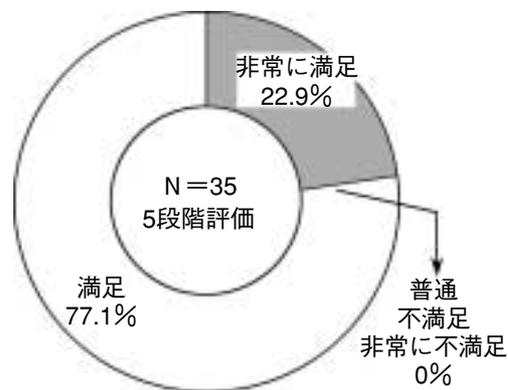


図7 セミナーの内容に関するCS調査結果
(期間：2002年6月～2003年8月)

だいている。

- ・「表計算ソフトで作成した熱加工コスト計算は、どこにどれだけコストがかかっているか一目でわかるので非常に良い。コスト構造がよく理解できた。今後は、新たな側面から生産コストをシミュレートし、コストダウンを図りたい。」
- ・「混合ガスを使った溶接法は、どうしてもガスのイニシャルコストがネックで導入を控えていたが、ランニングコストを計算すると、意外とすぐにペイできることがわかり、今後の我が社のコストダウン戦略に役に立ちそうである。」

また、一般従業員（技能工）からは、

- ・「そもそも人件費が高つくのは漠然とわかっていたが、実際に計算してみると、具体的な金額が見えて再認識させられた。特に、溶接後のスパッタ、スラグの除去やアークエアガウジング後の溝面の2次加工が、かなり無駄を費やしているのが印象的だった。授業の中では、これらの対策として新しい加工プロセスからアプローチされていたが、今後は別の切り口からの解決方法を自分なりに考え、会社に提案してみたい。」
- ・「溶接ワイヤのコストを実際に計算してみて、結構かかっているとの印象を受けた。普段、ワイヤはたくさんあるものだと粗末に扱っていたきらいがあるが、今後はコスト意識を持って取り組んでいけそうである。」

このように、感想を聞く限り、当初のねらいであるコスト意識や改善意識の向上に一応の成果をあげることができたと思われる。

7. おわりに

景気低迷のこの時代、製造現場において“トヨタ生産方式”が再び脚光を浴び始めている。その基本思想は「徹底したムダの排除 (the absolute elimination of waste)」といわれる。

元トヨタ自動車株式会社若松らの著書⁹⁾によれば、『生産現場の作業者の動作は、“作業”と“ムダ”に分かれ、さらに“作業”は付加価値を高める“正味作業”と付加価値はつかないが、現状の条件ではや

らなければならない“付随作業”に分けられる。改善を進めるに当たっては、まず明らかな“ムダ”を省き、さらに作業改善を進めて“付随作業”の比率を減らしていくことである。』とある。

本報の中で何度か出てきた「溶接後のスパッタ、スラグの除去作業」や「アークエアガウジング後の溝面の2次加工」は、まさに“付随作業”であり、熱加工コスト試算表からコスト比率を把握することができ、改善活動のよいきっかけになると思う。

今後の展開としては、さらなる蓄積を重ね、熱加工プロセスにおける施工管理、生産管理分野の一教育として確立し、体系化を図りたい。また、在職者のみならず離職者にもこの訓練を取り入れ、コスト意識や改善意識をもった人材を育成してゆきたいと考える。

<参考文献>

- 1) 原田, 安田: 「溶接電源からのコストダウンへのアプローチ」, 『溶接技術』, Vol.43 (1995), No.1, p.83.
- 2) (社)日本溶接協会 ガス溶断部会 技術委員会 新技術分科会: 「切断の現状と将来像について～切断に関するアンケート調査から～」, 『溶接技術』, Vol.47 (1999), No.12, p.117.
- 3) (社)日本溶接協会 電気溶接機部会: 「炭酸ガス半自動アーク溶接法と機器の取扱いに関する実習・実験」 (1979), p.91.
- 4) 中小企業総合事業団 情報・技術部: 「手溶接技能の伝承, 被覆アーク溶接」, 『平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業資料』, p.13.
- 5) 野原: 「溶接機器からみた溶接施工のワンポイント」, 『溶接技術』, Vol.47 (1999), No.7, p.136.
- 6) Halmoy.E.: Proc. Arc Physics and Weld Pool Behaviour, TWI London (1979).
- 7) 新版接合技術総覧編集委員会編: 「新版接合技術総覧」, (株)産業技術サービスセンター, p.535.
- 8) 山本, 原田, 安田, 野原: 「高品質プラズマガウジング法に関する検討」, (社)溶接学会 溶接法研究委員会, SW-2274-93 (1993).
- 9) 若松, 近藤: 「トヨタ式改善力～原価2分の1戦略への疾走～」, ダイヤモンド社 (2003), p.42.