

プラズマ切断面に及ぼす切断条件の影響

機械金属室 比嘉眞嗣

1. 緒言

一般にステンレス鋼の溶接は、被覆アーク溶接、TIG溶接、及びMIG溶接にて行なわれているが、その切断加工では、軟鋼のように手軽にガス切断ができず、機械加工や粉末ガス切断でもって切断加工しなければならない等、軟鋼と比べて加工が少々困難である。しかしながら、ステンレス鋼及び非鉄合金の切断に開発されてきたプラズマ切断により、それらの金属切断も可能となってきた。県内においては、ステンレス鋼の利用では板金加工が主であり構造材としてのステンレス鋼の利用が少なく、従ってプラズマ切断機の設置企業も少なく、厚板のステンレス鋼材の切断加工に支障をきたしているのが現状である。しかしながら、ここ2~3年、ステンレス製のタンクや構造材の増加がみられることからステンレス鋼の切断加工のニーズが増加する傾向にあることもいえない。

ところで、プラズマ切断法は1950年Gageらによって開発され、以来、ガス切断の困難なステンレス鋼、アルミニウム合金、銅合金等の高能率な溶断法として発展してきており、さらに現今ではその高速性に注目して、ガス切断のかわりに、この方法が鋼材切断にも適用されてきている¹⁾ということであり、今後、プラズマ切断技術の確立普及が益々必要になってくることが予想される。

従って以上のような観点より、県内における、プラズマ切断技術の普及を図るため、プラズマ切断条件がその切断面品質にどう影響するか、種々検討したので報告する。本報告は、プラズマ切断機の取り扱いに主眼を置いたので、特に対象鋼種としては、ステンレス鋼に限定せず今後の利用需要の多い軟鋼材を用いて実験を行い、電流値、切断速度、ガス量(Ar H₂) トーチ母材間距離の5因子を要因としてとらへ、それらが切断面にどう影響を与えるか、調べることにした。

2. 実験方法

2.1 実験計画法

実験の方法はL 27 (3¹³) の直交配列表によるわりつけで行った。切断面に及ぼす因子としては、表-1に示すとおり5因子をとり、特に影響の大きいと思われる電流値を主因子として図-1に示すように各因子との交互作用も考えた。

表-1 5因子と水準値

因子	水準			単位
	1	2	3	
A: 電 流	100	110	120	A
B: 切 断 速 度	250	300	350	mm/min
C: ア ル ゴ ン 量	12	16	20	ℓ/min
D: 水 素 量	0	0.5	1.0	ℓ/min
F: トーチ母材間距離	5	8	10	mm

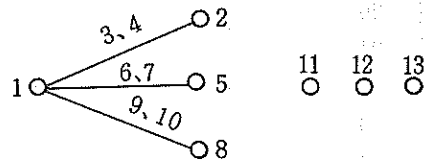


図-1 線点図

また、各水準値としては、あらかじめ予備実験を行い板厚9mmの場合の切断可能領域を求めその範囲内で水準を考えた。実験条件及び、各因子の割り付けを表-2、表-3に示す。

表-2 各因子の割り付け

列番	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因子	A	B	A × B	A × B	C	A × C	A × C	D	A × D	A × D	F	誤 差	誤 差

表-3 実験条件

列番 要因 No.	1	2	5	8	11		
	電流値	切断速度	アルゴン量	水素量	トーチ母材間		
1	100 ↓	250 ↓	12	0	5		
2			16	0.5	8		
3			20	1.0	10		
4		300 ↓	350 ↓	12	0.5	10	
5				16	1.0	5	
6				20	0	8	
7		110 ↓	350 ↓	12	1.0	8	
8				16	0	10	
9				20	0.5	5	
10	120 ↓		250 ↓	12	0	5	
11				16	0.5	8	
12				20	1.0	10	
13			120 ↓	300 ↓	12	0.5	10
14					16	1.0	5
15					20	0	8
16		350 ↓		350 ↓	12	1.0	8
17					16	0	10
18					20	0.5	5
19	120 ↓	250 ↓		12	0	5	
20				16	0.5	8	
21				20	1.0	10	
22		300 ↓	350 ↓	12	0.5	10	
23				16	1.0	5	
24				20	0	8	
25		350 ↓	350 ↓	12	1.0	8	
26				16	0	10	
27				20	0.5	5	

2.2 実験装置

実験装置は当場に設置されている200 Aのプラズマ溶接切断兼用機を用いた。以下に当装置の仕様を示す。

電源 : 200V (3 ϕ)
 電流範囲 20~200 A
 板厚範囲 1~50 mm
 使用ガス Ar+H₂
 電極 2.6 ϕ mm
 切断用ノズル径 Cu-1.6 ϕ mm

2.3 試験片

試験片は一般汎用鋼材SS 41を使用した。板厚は9 mmである。

試験片寸法は100×1000×9 mm (幅×長さ×板厚)で、実験前に切断幅測定のためあらかじめケガキ線を50mm間隔で入れ切断後切断幅を測定できるようにした。

2.4 測定方法

切断面の状態を把握するため、WES 2801 ガス切断面の品質基準を参考に以下の測定項目を検討することとし、以下の手順で測定にのぞんだ。

①切断幅：試験片の項で述べたようにあらかじめ切断面に50mm間隔でケガキ線を入れておき、切断後その長さを差し引いて切断幅とした。

②上縁の状態：上縁の溶け具合を大中小と3段階に分け良好なものは0として、表-4のように採点基準を考えて、それによりチェックした。

③ドロス量：切断後の試験片に付着しているドロスをタガネで削りとりその重量をもってドロス付着量とした。

④ドロス付着状態：図-2に示すようにドロス付着状態を5段階にわけた採点基準を設け、それによりチェックした。

表-4 上縁の状態判定基準

点数	上縁の状態
5(悪)	大：溶け
3	中：
1	小：
0(良)	良好

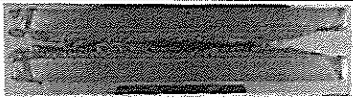
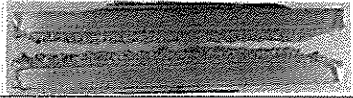
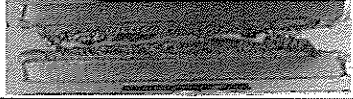
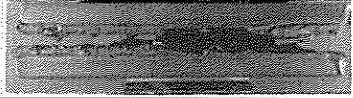
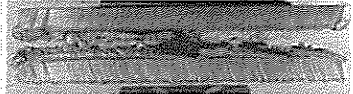
点数	ドロス付着状態
5 (良)	
4	
3	
2	
1 (悪)	

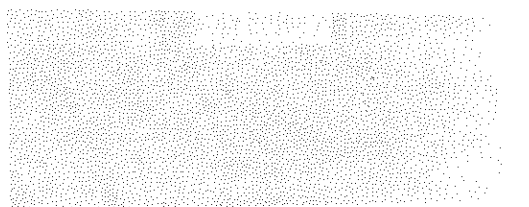
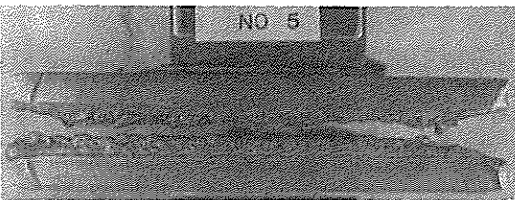
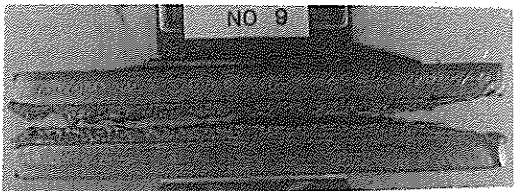
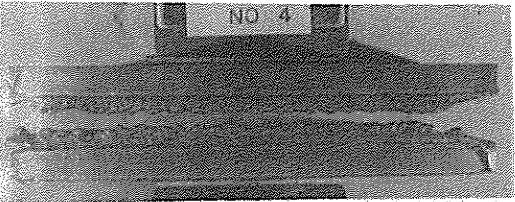
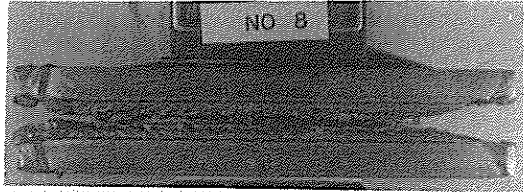
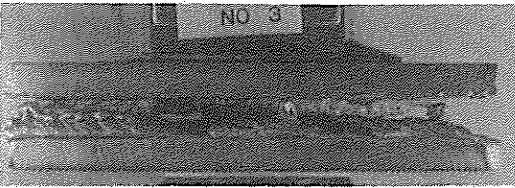
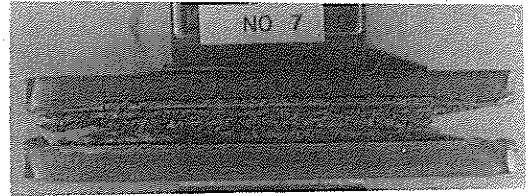
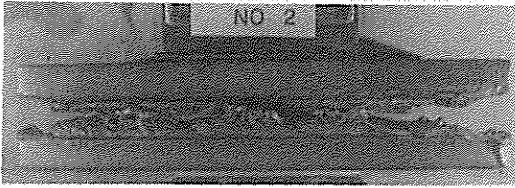
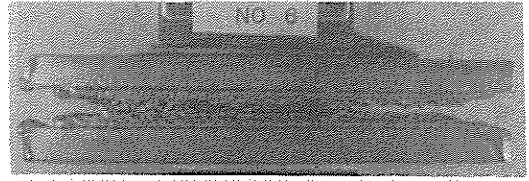
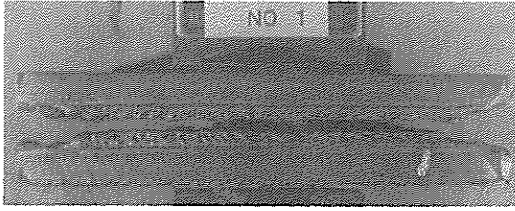
図-2 ドロス付着状態判定基準

3. 実験結果及び考察

実験後の測定及び判定結果を表一5に示す。また、切断面の状態写真を写真1～3に示す。

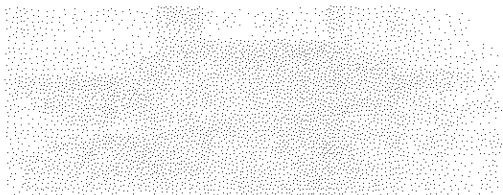
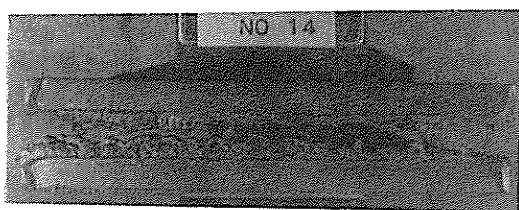
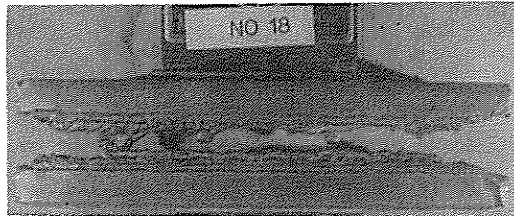
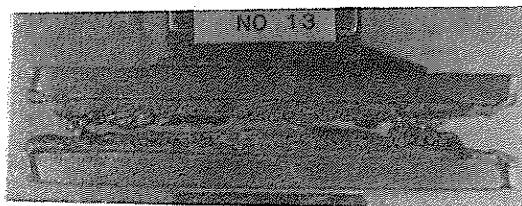
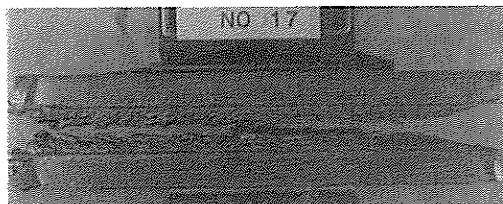
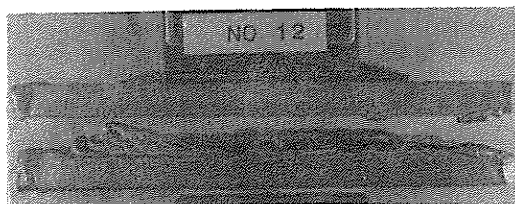
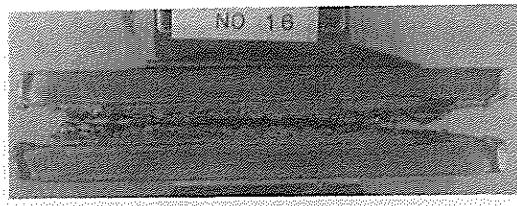
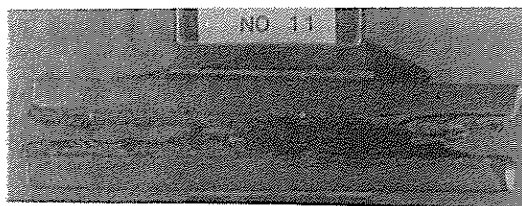
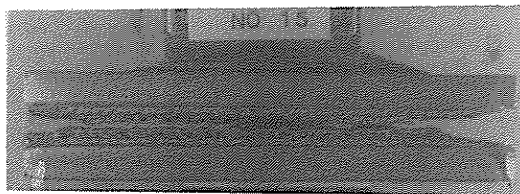
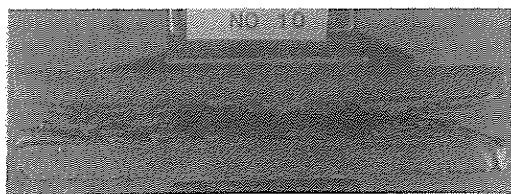
表一5 実験結果

No	実験結果(測定値)			
	切断幅 mm	上縁の状態	ドロス量 g	ドロス付着状態
1	4.40	6	16.31	5
2	4.85	4	20.10	2
3	4.75	3	18.22	1
4	4.65	4	23.23	4
5	4.10	4	20.22	4
6	3.90	1	16.88	5
7	4.45	4	19.81	2
8	4.40	4	18.67	5
9	3.55	3	16.05	5
10	4.15	8	13.50	1
11	4.60	4	17.15	2
12	5.00	3	12.05	1
13	4.70	4	23.98	3
14	4.40	6	20.34	3
15	4.35	2	18.48	5
16	4.10	6	21.02	4
17	4.55	4	20.28	5
18	4.15	3	18.92	5
19	4.30	6	17.44	1
20	5.05	6	13.19	2
21	4.80	3	16.51	2
22	4.70	4	19.41	1
23	4.20	6	21.15	3
24	4.65	4	18.95	5
25	5.22	6	20.57	3
26	5.05	6	22.56	5
27	4.15	6	17.88	5



切断面外観(1)

写真-1. 切断面外観(1)



牛乳製成物(2) (1) 頁

写真-2. 切断面外觀(2)

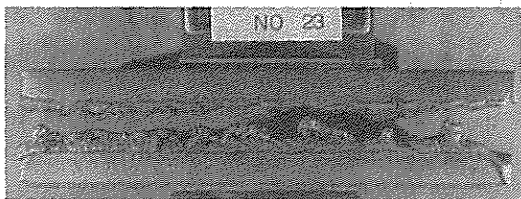
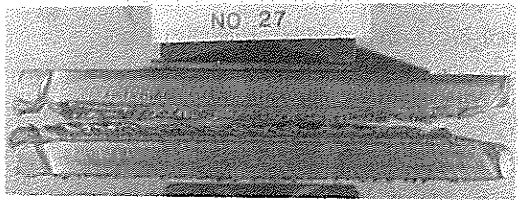
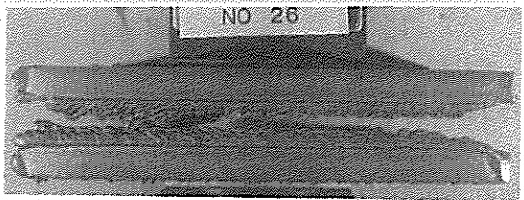
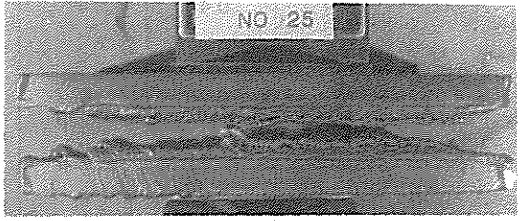
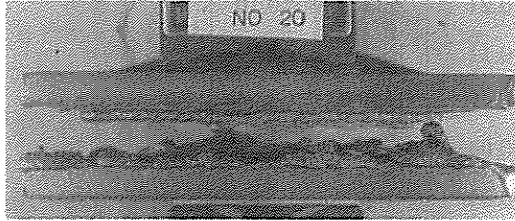
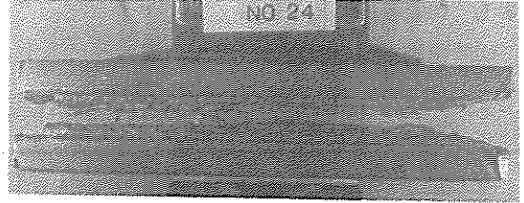
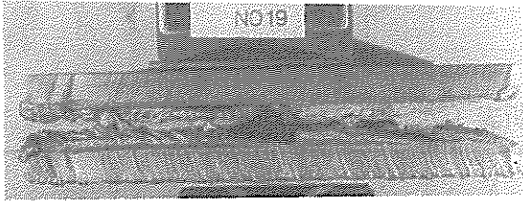


写真-3. 切断面外観(3)

3.1 切断幅に与える影響

切断幅測定値の分散分析結果を表-6に示す。

表-6 分散分析表 (切断幅)

要 因	S	ϕ	V	Fo	Fo'
A : 電 流	0.55	2	0.27	3.00	$V_B=0.10$ $\phi=24$
B : 切断速度	0.38	2	0.19	2.11	
A × B	0.41	4	0.21	2.33	
C : アルゴン量	0.21	2	0.11	1.22	
A × C	0.30	4	0.15	1.11	
D : 水素量	0.09	2	0.04	—	
A × D	0.03	4	0.01	—	
F : トーチ間距離	1.60	2	0.80	8.89*	8.00**
E : 誤 差	0.35	4	0.09		

** 危険率 1% で有意

* 危険率 5% で有意

それによると、切断幅に影響をもたらす因子としては、トーチ母材間距離のみで、危険率 1% で有意性を示し、他の因子は有意性がみられなかった。また、図-3 に水準毎の値をプロットした。図からトーチ母材間距離が長くなるに従って切断幅が広がるのがわかる。しかしながら、切断幅の差はそれほど大きくなくわずか 1mm の差しかなく、切断幅については、切断条件ではそれほど考慮しなくともよいといえよう。

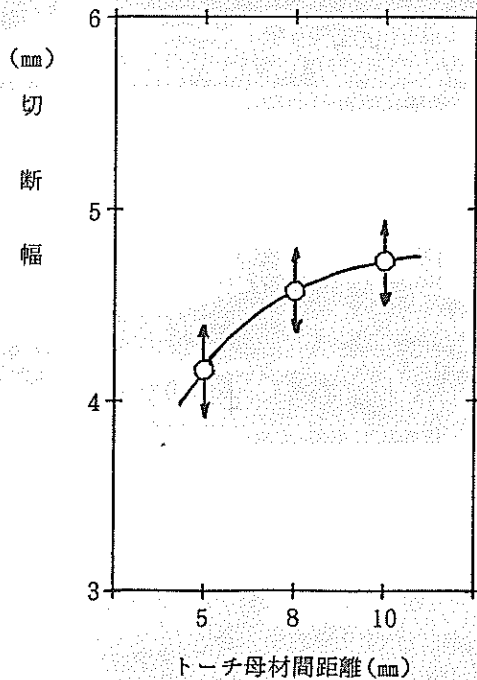


図-3. 切断幅に及ぼすトーチ母材間距離の影響

3.2 上縁の状態に与える影響

表-7 分散分析表 (上縁の状態)

要 因	S	ϕ	V	F ₀	F _{0'}
A : 電 流	10.89	2	5.44	7.56*	6.04**
B : 切断速度	4.22	2	2.11	2.93	
A × B	2.89	4	0.72	1.00	V _E =0.90 φ=20
C : アルゴン量	24.89	2	12.44	17.28*	
A × C	4.89	4	1.22	1.69	
D : 水素量	0.67	2	0.33	—	
A × D	2.45	4	0.61	—	
F : トーチ間距離	10.89	2	5.44	7.56*	6.04**
E : 誤 差	2.89	4	0.72		

** 危険率 1% で有意 * 危険率 5% で有意

上縁の状態の判定結果を分散分析した結果を表-7に示す。それによると、電流、アルゴン量、トーチ母材間距離の3因子が1%の危険率で有意となり、交互作用は特にみられなかった。各因子の影響を図-4~6に示すが、当然ながら、電流値の増加により、上縁の状態は溶けが大きくな

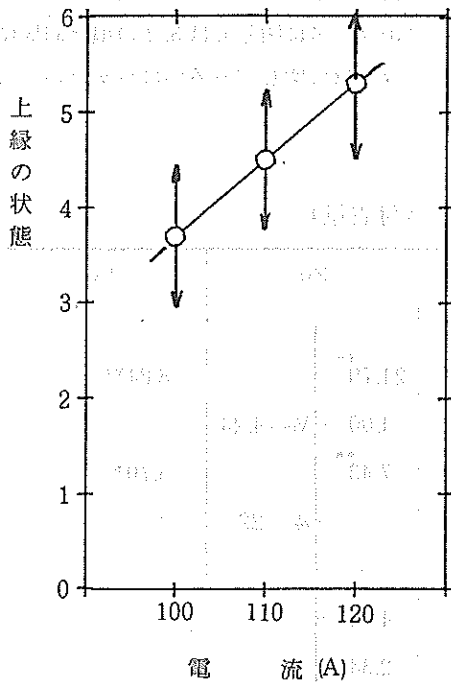


図-4 上縁の状態に及ぼす電流の影響

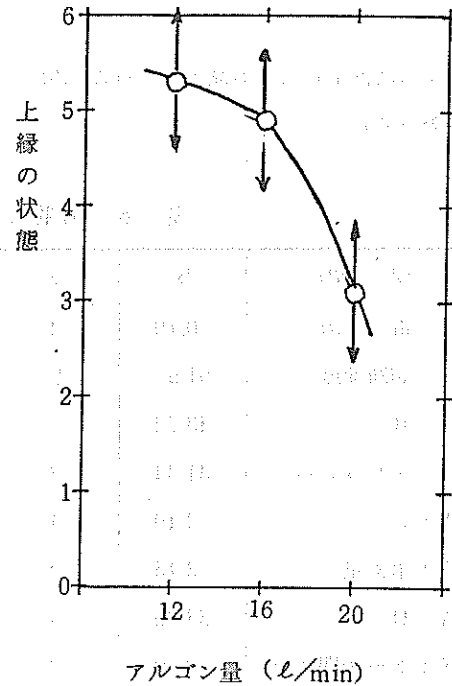


図-5 上縁の状態に及ぼすアルゴン量の影響

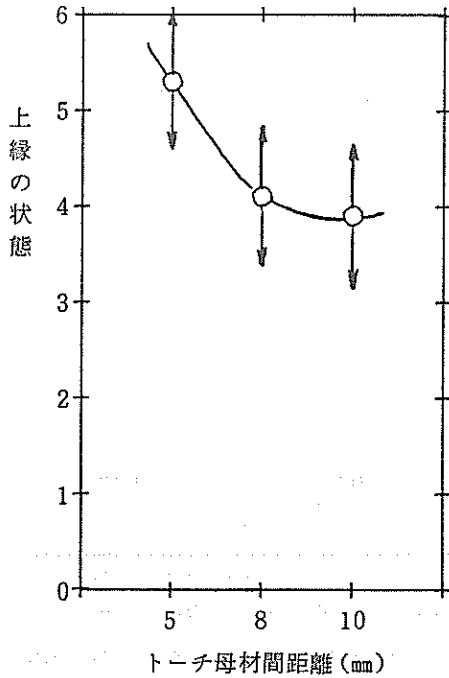


図-6. 上縁の状態に及ぼすトーチ母材間距離の影響

ることがわかり、その傾向も直線的に増加することがわかる。一方、アルゴン量、トーチ母材間距離の場合は、増加すればするほど、良好になることがわかり、特にアルゴンの場合は急激に良くなり、きわめて効果が高いことがわかる。これは、アルゴン量を増加することによりプラズマジェットが収束し、ジェット噴流がシャープになることが影響しているのではないかとと思われる。

トーチ母材間距離が短い場合は電流値と同様に、上縁に多く熱量が当たるためと考えられる。

3.3 ドロス付着量に与える影響

ドロス付着量に関しての分散分析結果を表-8に示す。それによると、切断速度とアルゴン量について、1%及び5%の危険率で有意となり、他は影響度が低かった。また、図-7、8にその結果を図示したが、切断速度の場合は水準2で、ピークを持つ形となりある切断条件ではドロス量が増えることがわかる。実際の切断ではなるべくドロス量としては少ないほうが良いので、その悪条件以外で行なえば良いため、特に問題はないと考える。アルゴン量に関しては3.2の項と同様に

増加するほどドロス量も減少し良好な結果となっており、ドロス量に関しても多いほうが良いことがわかった。

表-8 分散分析表 (ドロス付着量)

要因	S	ϕ	V	F ₀	F _{0'}	
A: 電 流	0.79	2	0.39	—	$V_B=4.24$ $\phi=22$	
B: 切断速度	91.97	2	45.99	21.79**		8.84**
A×B	33.72	4	8.43	4.00		3.70*
C: アルゴン量	31.34	2	15.67	7.43**		
A×C	3.10	4	0.78	—		
D: 水素量	3.45	2	1.73	—		
A×D	33.99	4	8.50	4.03		
F: トーチ間距離	9.90	2	4.95	2.34		
E: 誤 差	8.43	4	2.11	—		

** 危険率1%で有意

* 危険率5%で有意

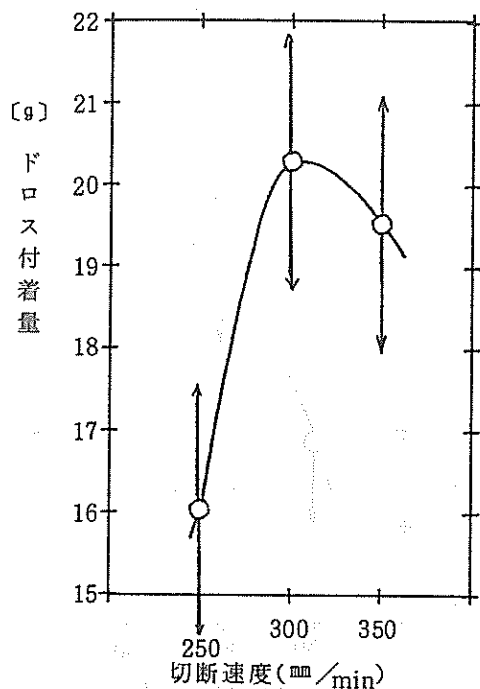


図-7. ドロス付着量に及ぼす切断速度の影響

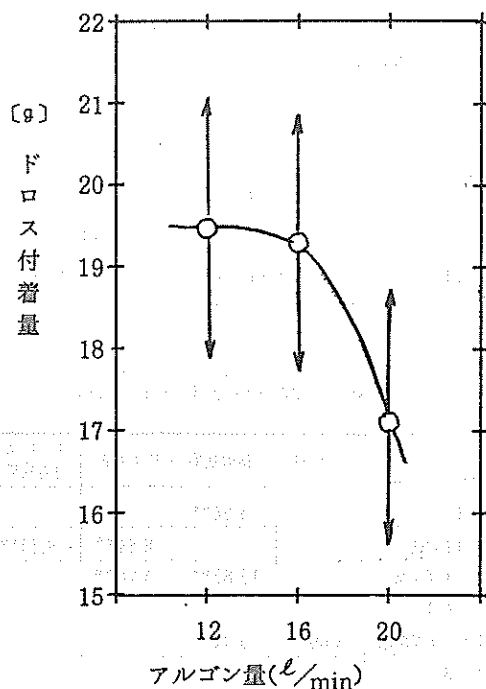


図-8. ドロス付着量に及ぼすアルゴン量の影響

3.4 ドロスの付着状態に与える影響

ドロスの付着状態の判定結果の分散分析結果を表-9に示す。影響因子としては切断速度のみ大きく影響し、危険率1%で有意性を示し、残りはそれほど影響していないことがわかる。また結果を

表-9 分散分析表 (ドロスの付着状態)

要因	S	ϕ	V	Fo	Fo'
A: 電流	2.07	2	1.04	—	9.33**
B: 切断速度	28.74	2	14.37	11.98**	
A × B	4.15	4	1.04	—	
C: アルゴン量	5.85	2	2.93	2.44	
A × C	4.37	4	1.09	—	
D: 水素量	10.96	2	5.48	4.57	
A × D	3.26	4	0.82	—	
F: トーチ間距離	1.41	2	0.70	—	
E: 誤差	4.81	4	1.20	—	

** 危険率1%で有意 * 危険率5%で有意

図-9に示すが、切断速度が増加すればするほど良好な切断状態になることがわかり、3.3のドロス付着量とも比較して考えると切断速度に関しては速いほど良好な切断になることがわかった。

以上実験結果を影響因子毎にまとめると表-10のようになり、当初予定していた電流値の影響はそれほど高くなく、切断速度、アルゴン量の方が、影響度合は高いことがわかった。

表-10 分散分析結果 (まとめ)

要因	切断幅	上縁の状態	ドロス量	ドロス付着状態
A:電流		6.04**		
B:切断速度			8.84**	9.33**
C:アルゴン量		13.82**	3.70**	
D:水素量				
E:トーチ間距離	8.00**	6.04**		
A×B				
A×C				
A×D				

**危険率1%で有意 *危険率5%で有意

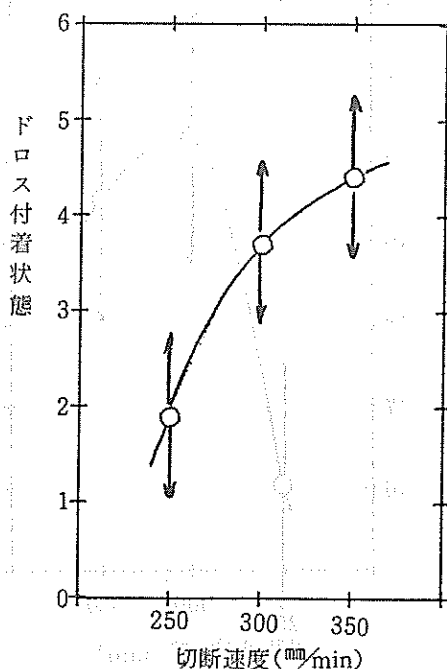


図-9. ドロス付着状態に及ぼす切断速度の影響

4. 結 言

プラズマ切断条件の切断面品質に与える影響について直交配列を用い実験した結果、以下のことがわかった。

1. 切断幅に影響する因子としては、トーチ母材間距離が影響し、間隔が広いほど切断幅は増加する。
2. 上縁の溶け具合には、電流、アルゴン量、トーチ母材間距離が影響し、電流増加が、上縁の溶けを助長し、品質を悪くするが、残る2因子は、逆に増加するほど、溶けが小さく、品質は良好となる。
3. ドロス付着量は、切断速度とアルゴン量が影響し、アルゴンが増すほど少なくなるが切断速度については、ある条件でピーク点を持つ。
4. ドロス付着状態に関しては、切断速度が増すほど良好な付着状態となり安定する。

以上より、プラズマ切断においては、良好な切断面を確保するには、板厚に応じた電流値で切断速度はできるだけ高速に行い、且つ、アルゴン量は高めで、トーチ母材間距離は努めて長くとるほうが良いといえる。

おわりに

今回の実験では板厚を9mmとやや薄板のみを使用したため、電流値及び、H₂量の影響が少なかったが、今後板厚の大きいものの検討が必要になると考える。又、切断面の品質評価についても、切

断面の粗さ具合等の検討はできなかった。9 mmの場合、その粗さ具合は顕著でなかったが、板厚が大になると影響は出てくると考えられる。又、今回の実験条件では切断速度をやや低めに水準をとったような傾向もあり、プラズマ切断の効率性等の観点からは、もっと高速にする必要があったのではないかと考える。使用ガスについても、軟鋼切断ではアルゴンを使う必要もなく、窒素ガス等が利用されているようでもあり、この面からの装置に対する検討も必要になってくると考える。

参考文献

- 1) 西口、松山：「鋼材切断へのプラズマアーク切断法の導入実情」、溶接技術 Vol 24 1976、
No 8、9
- 2) 西口、松山：「プラズマ分科会の活動状況」、溶接技術、Vol 24 1976 No1
- 3) 藤井：「プラズマ加工」産業工具事典 P 345

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。