ガス切断に関する二、三の実験（第1報）*

—数種の市販火口の切断効率について—

水 津 寛 一** 安 田 武 夫**

Some Investigations Regarding Oxygen Cutting (Report 1)*

—Cutting Efficiency of Some Available Tips—

By K. Suitsu** and T. Yasuda**

Abstract

As an important criterion for evaluating the tip performance, the authors employed, in addition to the drag, the cutting efficiency of oxygen expressed as square millimeter of cut area per liter of oxygen. In cutting study, for the sake of reproducible results, the cut area was calculated as the product of cutting speed by maximum cut thickness. The maximum cut thickness was defined as the thickness, beyond which the cutting action can not progress toward the direction of bottom in a wedge-shaped specimen under the referring cutting conditions.

In this first report, the cutting efficiency of some available tips was investigated by using such specimens as mentioned above, and the important findings may be summarized as follows:

- (1) With increasing tip distance the cutting efficiency is slightly decreased.
- (2) By oxygen pressure the cutting efficiency is greatly influenced, and at some specific pressure, which is peculiar to the type of tip, the highest efficiency can be obtained.
- (3) The amount of acetylene flow for preheating has no significant effect on the cutting efficiency.
- (4) The relationship among the efficiency, tip size and cutting speed, at the most favorable tip distance and oxygen pressure, was clarified by the experimental formulas obtained by the authors.
- (5) From these experimental formulas it was also revealed that, in ordinary cutting, at the speed in excess of 1200 mm/min the cutting action can not progress toward the direction of cutting in the plate, and that divergent nozzle tips have 15% higher cutting efficiency in comparison with simple nozzle tips.

1. 緒 言

ガス切断火口の性能は該火口により種々の切断条件の下で切断された切断面をドラッグ等を基準として評価するのが最も一般的な方法であるが、筆者等は次の(1)式で表わされるところの切断効率をとって火口性能の評価を試みた。

$$\eta = \frac{T_m \cdot v}{V} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 η ；切断効率 (mm²/l)
 T_m ；最大切断板厚 (mm)
 v ；切断速度 (mm/min)
 V ；切断酸素流量 (l/min)

ここに T_m は特定の切断条件の下で切断され得る最大の板厚であり、その値は楔形試験片によって求める。

本報告は市販火口数種について火口形式、火口口径、お

よび酸素圧力、速度等の切断条件によって η の値がどのように変化するかを調査し、併せて任意の T_m に対する η の最大値およびその最大値に対応する切断条件を求めた。実験の結果によれば効率 η は火口性能の客観的判定基準の重要な一つになり得ることが判明した。

2. 使用火口およびトーチ

本実験に用いた火口は Table 1 に示す如き同心形の小池酸素製 Style 108 火口（ダイバーゼントノズル火口）および Style 102 火口（単純ノズル火口）の2形式とし、各々 #00, #1, #3, #5, #7 寸法火口を選んだ。表に示す火口口径は各火口について精密拡大投影器によって実測した値で設計値とは多少異なっている。

切断トーチは実験用に製作したものでその構造は Fig. 1 に示す。切断酸素通過部分の断面積は充分大きくして圧力計が火口入口の酸素圧力を正確に示すように留意した。

3. 実験方法

* 原稿受付、昭和34年7月20日（昭和34年度熔接学会春季学術講演会において発表）

** 正員、川崎重工業 K K Member, Kawasaki Dockyard Co., Ltd.

Table 1 Cutting Tips Tested

Style No.	Size No.	Cutting orifice								Preheating orifice		
		d*	d	de	D ₁	D ₂	L ₁	L ₂	de/d	dp	Nos.	P.C.D.
102	00	0.80	0.80	—	3.0	—	35.0	—	—	0.7	6	3.5
	1	1.20	1.25	—	3.0	—	35.0	—	—	0.8	6	4.0
	3	1.60	1.65	—	3.0	—	35.0	—	—	0.9	6	4.5
	5	2.10	2.15	—	4.0	—	40.0	—	—	0.9	6	5.0
	7	2.80	2.96	—	5.0	—	50.0	—	—	1.0	6	6.0
108	00	0.40	0.425	0.545	2.0	3.0	9.0	20.0	1.28	0.8	6	3.4
	1	0.90	0.935	1.175	2.0	3.0	9.0	20.0	1.26	1.1	6	4.3
	3	1.20	1.25	1.60	2.0	3.0	12.0	20.0	1.28	1.1	6	4.7
	5	1.70	1.75	2.22	3.0	5.0	15.0	22.0	1.27	1.2	6	5.4
	7	2.50	2.51	3.18	4.0	5.0	25.0	22.0	1.27	1.3	6	6.6

Note : de/d : Expansion ratio of divergent nozzle
P.C.D. : Preheat flame pitch circle diameter
d* : Designed value (designed expansion ratio of S. 108 is 1.30)

STYLE 102 SIMPLE NOZZLE TIP

STYLE 108 DIVERGENT NOZZLE TIP

Fig. 1 Medium-pressure tip-mixing-type torch used

Fig. 2 Measurement of oxygen gas flow rate

Table 2 Chemical Composition of Specimens (%)

C	Mn	Si	P	S
0.11~0.21	0.5~0.9	0.10~0.30	< 0.04	< 0.05

3・1 酸素流量測定法

各火口の切断酸素の消費量を知るために予じめ Fig. 2の方法によって流量を測定し、圧力対流量の関係を求めた。図に示す流量の測定方法は、先づ水槽中の目盛付タンクに上方のエジェクターによって水を充滿し、しかる後火

Fig. 3 Procedure for test cutting using wedge-shaped specimen

Fig. 4 Cut surface of wedge-shaped specimen

口から噴出する酸素を太いゴム管によってタンク中に導入する。このような方法では実際の切断時に較べ流量に差異

を生ずるのではないかという懸念があるので、一部小流量の場合にローターメーターを併用して測定したが、大気中に噴出する場合と流量計中に噴出する場合との間に差異は認められなかった。

3・2 切断試験片

Fig. 3 に示す如く厚さ 32mm, 勾配 $\frac{1}{3}$ を有する楔形試験片とした。材質は造船用鋼板でその化学組成はほぼ Table 2 の範囲にある。

3・3 切断方法

Fig. 3 の如く試験片の尖端部から一定条件で切断を行なっていく、トーチがある点まで進行してきてもはやそれ以上板厚方向(下方)には切断が不可能となってスラッグが切溝から噴上ってくると切断を中止した。切断後は切溝の一方のスラップを切り取り Fig. 4 の如く最大切断板厚 T_m を測定した。

酸素流量は圧力計で、アセチレン流量はローターメーターで切断中常に一定に保たれるように調整した。酸素は液酸方式によるものでその純度は99.8%である。

4. 実験結果および考察

4・1 酸素流量

S. 108, S. 102 の各寸法火口について測定した結果は Fig. 5 のようになった。図において対数目盛の横軸には酸素流量 V をとっている。縦軸も同じく対数目盛で火口 No. に対しては(酸素圧力 $p+0.5$)をとっているが流量との関係は 45° の直線で近似出来る。同じく縦軸に(火口口径 $d-0.05$)をもとて示しているが流量との関係は勾配 2 の直線で近似される。これらの結果から S. 108, S. 102 とも流量に関して次の(2)式が得られた。

$$V = 8.0(p+0.5)(d-0.05)^2 \dots \dots (2)$$

ここに、 V ；切断酸素流量 (l/min)

p ；火口入口の酸素圧力

(Kg/cm² ゲージ)

d ；火口口径、ただし S. 108 は喉径 (mm)

今切断酸素気流を完全な断熱噴流と考え、火口入口および火口断面最小部の圧力(但し絶対圧力)、温度および密度をそれぞれ(p_0^*, T_0, ρ_0), (p^*, T, ρ) とすれば、 p_0^* が大気圧に対して臨界圧を超え、

$$p^* \geq 1 \text{ 気圧}$$

の場合、最小断面部の噴流速度は次のように音速になると考えられる。

$$a = \sqrt{rRT}$$

ただし、 a ；ノズル最狭部の状態における音響速度

Fig. 5 Oxygen flow relations

Fig. 6 Effect of tip distance on the maximum cut thickness

Fig. 8 Negligible influence of acetylene flow upon the maximum cut thickness

R ; 酸素に対するガス常数
 r ; 酸素の定容定圧比熱比

Fig. 9 Maximum cut thickness vs. cutting speed at standard oxygen pressure

Fig. 7 Effect of oxygen pressure on the maximum cut thickness and cutting efficiency

従って酸素の噴出量 G は次のようになる。

$$G = sp_a$$

$$= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{p^*}{RT} \sqrt{rRT}$$

$$= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{0.528 p_0^*}{RT} \sqrt{rRT}$$

$$= \frac{0.528 \pi \sqrt{r}}{4 \sqrt{RT}} \cdot d^2 p_0^*$$

ただし、 G ; 酸素噴出量 (重量)
 s ; 火口断面積
 d ; 火口口径

これから

$$\frac{1}{p_0^*} \leq 0.528$$

すなわち $p_0^* \geq 1.9 \text{ kg/cm}^2$ (絶対圧力) では流量は火口入口における絶対圧力 p_0^* 及び火口口径 d の2乗に比例することになる。

以上の如く理論的に導かれた結果と実験式(2)との相違は実際の火口においてはノズルがかなり長くこの間による圧力降下およびノズル壁面の磨擦抵抗による有効断面

積の減少等によるものではないかと考えられる。

4・2 火口距離と切断効率

S.102 #3 火口を用いて火口距離（火口先端と被切断板表面との間隙）を種々は変えて切断した結果は Fig. 6 の如くになった。火口距離の増大は伴い T_m は僅かに減少している。従って火口距離の増大とともに切断効率は減少することになる。

普通の切断においては予熱焰先端は板表面から 2~3mm 離すのが適当のようであり、このためには火口距離は 10 mm 前後となる。以下における実験は比較の便宜上すべて火口距離 10mm 一定とした。

4・3 酸素圧力と切断効率

S.108 #3 および S.102 #3 の 2 種の火口について酸素圧力を種々に変えた場合の結果を Fig. 7 に示す。酸素圧力の上昇に伴い T_m は或る点までは増加するがそれ以上はかえって減少する傾向がみられる。従って切断効率 η は酸素圧力によって大きく変化している。図によれば Style 108 では 7kg/cm², Style 102 では 3kg/cm² で η は最大となっている。

4・4 予熱アセチレン流量と切断効率

予熱アセチレン流量を種々に変えてこれが T_m に及ぼす影響を調べた結果は Fig. 8 の如くであった。焰はすべて中性焰としている。図によればアセチレン流量の多少によって T_m には殆んど変化はない。従ってアセチレン流量は η には無関係と考えて差支えないことが判明した。

4・5 切断速度および火口寸法と切断効率

Fig. 10 Direction coefficient of T_m - v curves in Fig. 9 as a function of tip orifice diameter

以上の実験結果から、酸素圧力を S.108 では 7kg/cm², S.102 では 3kg/cm², 火口距離はすべて 10mm を標準値とし、アセチレン流量も 10 l/min の一定値として種々の切断速度における各火口の T_m は Fig. 9 の如くになった。切断速度を示す横軸は対数目盛にとっているが、 T_m と v の関係は S.108, S.102 とともに点 ($T_m=0$, $v=1200$) を通る直線で近似される。直線の方角係数を m とすると直線の式は次のようになる。

$$T_m = m(\log v - \log 1200)$$

この方向係数 m は Fig. 10 の如く火口口径 d の関数として次式の如く表わされる。

$$S. 108 \quad m = -\{410 \log(d - 0.05) + 140\}$$

$$S. 102 \quad m = -\{410 \log(d - 0.05) + 80\}$$

この m を前式に代入すると T_m に関しては結局次式が得

Fig. 11 Cutting efficiency vs. maximum cut thickness at standard oxygen pressure

られた。

$$S. 108 \quad T_m = \left\{ 410 \log(d-0.05) + 140 \right\} \log \frac{1200}{v} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$S. 102 \quad T_m = \left\{ 410 \log(d-0.05) + 60 \right\} \log \frac{1200}{v} \quad \dots\dots\dots (4)$$

この結果は普通の冷間切断においては切断速度の限界は 1200 mm/min で切断方向に向ってはこれ以上の速度では切断が進行し得ないことを示している。しかし図において極小口径火口、または切断速度が極めて大きい場合上式からややずれているのは、このような条件では T_m が極めて小さく、従って予熱焔によって板の初期温度が高くなり熱間切断の傾向をもつようになること等のためではないかと思われる。

標準酸素圧力、標準火口距離においてはアセチレン流量の多少にかかわらず T_m の極く小さい場合を除き上の(3)(4)式は広く適用し得る。従ってこれに対する切断効率 η は次のように表わされる。

$$S. 108 \quad \eta = \frac{T_m \cdot v}{V} = \frac{\left\{ 410 \log(d-0.05) + 140 \right\} \left(\log \frac{1200}{v} \right) v}{8 \times 7.5 (d-0.05)^2} \quad \dots\dots (5)$$

$$S. 102 \quad \eta = \frac{T_m \cdot v}{V} = \frac{\left\{ 410 \log(d-0.05) + 60 \right\} \left(\log \frac{1200}{v} \right) v}{8 \times 3.5 (d-0.05)^2} \quad \dots\dots (6)$$

各火口について上式で表わされる η および実験値を T_m をベースにとって示すと Fig. 11 のようになった。火口寸法

別にみると或る切断速度で η は最大となっているがこの速度は (5), (6) 式で $\frac{\partial \eta}{\partial v} = 0$ として求めると、S.108, S.102 とも $v=442 \text{ mm/min}$ となった。

4・6 ダイバーゼントノズル火口と単純ノズル火口の比較

Fig. 11 において任意の T_m に対して火口口径とそれに対応する切断速度の組合せは種々に選ぶことができるが、その各々の組合せによって η は変わることがわかる。この中最大の切断効率 η_m を与える d, v の関係を実験式から次のようにして求めた。

今式(3), (4)で表わされる曲面 $T_m = f(v, d)$ と平面 $T_m = K$ (一定値) との交線の v, d 平面上への正射影 C を考える。 C は $T_m = K$ を与える v, d の関係を示し、これを $d = \varphi(v)$ とする。次に C を正射影とするような曲線 Γ を式(5), (6) で表わされる曲面 $\eta = g(v, d)$ 上に考える。曲線 Γ の C に沿うての方向微分係数は曲線 C の弧の長さを S とすると次式で与えられる。

$$\frac{d\eta}{dS} = \frac{\partial \eta}{\partial v} \cdot \frac{dv}{dS} + \frac{\partial \eta}{\partial d} \cdot \frac{dd}{dS}$$

$d = \varphi(v)$ から、

$$dS = \sqrt{1 + \{\varphi'(v)\}^2} \cdot dv$$

従って、

$$\frac{d\eta}{dS} = \frac{1}{\sqrt{1 + \{\varphi'(v)\}^2}} \left(\frac{\partial \eta}{\partial v} + \frac{\partial \eta}{\partial d} \cdot \frac{dd}{dv} \right)$$

$\frac{d\eta}{dS} = 0$ を満足する条件の中最大の切断効率 η_m を与えるものとして次の式が得られた。

$$S. 108 \quad \log \frac{1200}{v} = 2 \left\{ \log(d-0.05) + \frac{140}{410} \right\}$$

$$S. 102 \quad \log \frac{1200}{v} = 2 \left\{ \log(d-0.05) + \frac{60}{410} \right\}$$

この関係を式(3), (4)に代入すれば T_m と η_m を与える d, v との関係は次のようになる。

$$S. 108 \quad S. 102 \quad v = 1200 \times 10^{-\frac{\sqrt{2T_m}}{410}} \quad \dots\dots (7)$$

$$S. 108 \quad d = 10^{\frac{\sqrt{T_m} - 140}{2 \times 410}} + 0.05 \quad \dots\dots (8)$$

$$S. 102 \quad d = 10^{\frac{\sqrt{T_m} - 60}{2 \times 410}} + 0.05 \quad \dots\dots (9)$$

(7), (8), (9)式と(5), (6)式から η_m と T_m の関係は次のようになった。

$$S. 108 \quad \eta_m = \frac{1200 \times 10^{\frac{2 \times 140}{410}}}{8 \times 7.5} \cdot T_m \cdot 10^{-\frac{2\sqrt{2T_m}}{410}} \quad \dots\dots (10)$$

$$S. 102 \quad \eta_m = \frac{1200 \times 10^{\frac{2 \times 60}{410}}}{8 \times 3.5} \cdot T_m \cdot 10^{-\frac{2\sqrt{2T_m}}{410}} \quad \dots\dots (11)$$

以上の結果から T_m をベースにして η_m およびそれに対応する d, v の関係を図示すると Fig. 12 のようになった。本図の $\eta_m - T_m$ 曲線は Fig. 11 の曲線群の上方に接するもので、 d, v をどのよう

Fig. 12 Obtainable maximum cutting efficiency and corresponding cutting variables vs. maximum cut thickness

に選んでも η はこれ以上大にはなり得ないことが知れる。
また S.108 の η_m は S.102 の η_m よりも大であるがその比を γ とすると (10), (11) 式から

$$\gamma = \frac{\eta_m(108)}{\eta_m(102)} = \frac{3.5 \times 10^{\frac{2 \times 140}{410}}}{7.5 \times 10^{\frac{2 \times 60}{410}}} = 1.15$$

すなわち S.108 は S.102 に比較し η_m は 15% 大となり、火口形式による差がここで明確に比較された。また η_m は T_m の或る値で最大となっているが、この T_m は (10), (11) 式で $\frac{d\eta_m}{dT_m} = 0$ として求めると、

$$T_m = \frac{410}{2(\log e 10)^2} = 38.6 \text{ (mm)}$$

となった。

なお Fig.12 の $\eta_m - T_m$ 曲線は Fig.11 の曲線群 (d をパラメーターとする) の包絡線に他ならず、(3)~(6)式から直接この包絡線の式を求めても上記と同じ結果が得られた。

5. 結 言

以上筆者らは楔形試験片を用いて最大板厚 T_m を求め、これから酸素の切断効率 η を算出して市販火口数種の比較調査を行なったのであるが、大要次の結論が得られた。

(1) 切断効率の基礎となる火口の酸素流量に関して実験式 (2) を得た。

(2) 火口距離の増大と共に η は減少する。

(3) 酸素圧力は η に大きく影響する。使用したダイバーゼント火口では 7kg/cm^2 、単純ノズル火口では 3kg/cm^2 で最大の η が得られた。

(4) アセチレン流量の多少は η には殆んど影響しない。

(5) 最大切断効率を与える前記酸素圧力を標準圧力とし、火口距離を一定とした場合の T_m 、切断速度および火口口径の関係について実験式 (3), (4) を得た。従ってこの場合の η は式 (5), (6) の如くになった。

(6) 前項において任意の T_m に対して最大効率 η_m を与える切断条件として実験式 (7)~(9) を得た。また T_m と η_m との関係は (10), (11) 式の如くになった。使用したダイバーゼントノズル火口の η_m は単純ノズル火口の η_m に比べ約 15% 大であり、火口型式による切断効率の優劣がこの η_m において明確に比較された。

謝 辞

本実際に際して阪大工学部大西巖教授、同水野政夫助教授から種々御教示を仰いだ。ここに謹んで感謝の意を表します。

一 般 用 炭 素 鋼 鋳 物 ASTM A27-85

級 別	化 学 組 成 (%)					機 械 的 性 質			
	C	Si	Mn	P	S	引張強さ (kg/mm ²)	降 伏 点 (kg/mm ²)	伸 び G.L.=2" (%)	絞 り (%)
N-1	≤0.25	≤0.80	≤0.75	≤0.05	≤0.06	—	—	—	—
N-2	≤0.35	≤0.80	≤0.60	≤0.05	≤0.06	—	—	—	—
N-3	—	—	≤1.00	≤0.05	≤0.06	—	—	—	—
U-60-30	≤0.25	≤0.80	≤0.75	≤0.05	≤0.06	42.2	21.1	22	30
60-30	≤0.30	≤0.80	≤0.60	≤0.05	≤0.06	42.2	21.1	24	35
65-30	—	—	—	≤0.05	≤0.06	45.7	21.1	20	30
65-35	≤0.30	≤0.80	≤0.70	≤0.05	≤0.06	45.7	24.6	24	35
70-36	≤0.35	≤0.80	≤0.70	≤0.05	≤0.06	49.2	25.3	22	30
70-40	≤0.25	≤0.80	≤1.20	≤0.05	≤0.06	49.2	28.1	22	30