ガス切断に関する二、三の実験 (第 4 報)*

——切断による除去金属重量について——

水 津 寛 一** 安 田 武 夫**

Some Investigations Regarding Oxygen Cutting (Report 4)*

—Amount of Metal Removed by Cutting Reaction—

By Kan-ichi Suizu** and Takeo Yasuuda**

Abstract

The weight of removed metal per millimeter of cut length was measured. Estimated from the results was the maximum amount of removed metal corresponding to the maximum thickness that can be cut under the referring cutting conditions and mean kerf width of both in the upper part and through the whole thickness of the cut was also estimated.

Thus, the following main conclusions were derived :

(1) The maximum amount of removed metal per liter of oxygen (hereafter will be referred to as the removal efficiency) is the largest at some specific pressure of oxygen. This pressure is nearly the same as that giving the highest cutting efficiency. Above the pressure the kerf width increases with the increasing pressure of oxygen.

(2) The removal efficiency at the standard oxygen pressure increases with the increasing cutting speed and is not apparently affected by the size of the tip. On the other hand, the kerf width is greatly affected by the tip size as well as by the cutting speed.

(3) At the elevated steel temperatures the removal efficiency increases and the kerf width decreases.

(4) The removal efficiency corresponding to the nominal consumption of oxygen as mentioned above is generally greater than that estimated by the chemical equation for iron-oxygen combustion, i. e.

For example, the removal efficiency at 800 mm/min. of cutting speed is two and half times that estimated by this chemical equation.

1. 緒 言

ガス切断の機作は燃焼温度以上に加熱された金属が酸素と反応して燃焼し、生じた溶融酸化金属が酸素気流によって除去されるものとされているが、この際発生する多量の熱のために一部未燃焼の金属も溶融除去されるものと考えられている¹⁾。したがって切断スラグの化学組成は切断条件の影響を受けることが当然予想される。事実切断条件とスラグの化学組成についてはすでに二、三の報告があり上の予想が実証されている²⁾。

しかし一方火口から噴出する酸素の量に対していかほどの金属が除去されるかということは興味ある問題と思われる。また切断作業の実際面から考えると除去金属重量は切溝（カーフ）の巾に関係するので作業条件の選定に有力な基礎を与えるものと思われる。このような考え

により本報告は軟鋼について種々の切断条件の下で単位切断長さ当りの除去金属重量を測定したものである。実験の結果から切断速度が大となるほど酸素の単位消費量当りの除去金属重量が大となること、カーフ巾は切断速度がある点まではほとんど変化しないが、ある値以上になると漸次増大し、この速度は火口寸法の影響を受けること等が判明した。

2. 実験要領

2・1 試験片および除去金属重量測定法

Fig. 1 に示すごとく板厚 32mm の造船用鋼板で巾×長さ = $T \times 150$ の試験片を作った。試験片はあらかじめ重量を測定しておき、図に示すように切断を行った。切断後試験片の前後端部で切断が定常的に行われていない部分を削除してふたたび重量を測定する。この場合鋼板板厚 (32 mm) は均一なものとして次式により単位切断長さ当りの除去金属重量を算出した。

* 昭和35年5月27日(昭和35年度溶接学会春季学術講演会において発表)

** 正員、川崎重工株式会社 Member, Kawasaki Dockyard Co., Ltd.

Fig. 1 Procedure for measuring weight of metal removed by cutting reaction.

$$W = (W_0 \times \frac{l_0'}{150} - W_0') / l_0' \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 W ：切断長 1 mm 当りの除去重量 (gr/mm)

W_0 ： $l_0=150$ 試験片の重量 (gr)

W_0' ：前後端削除後の試験片重量 (gr)

l_0' ：前後端削除後の試験片長さ (mm)

試験片を前後から補助板で挟んで切断し、切断後の試験片はそのまま重量を測定する方法も試みたがかかる方法では、特に T が大となると、補助板との境界部で切断が滑らかに進行せず均一な切断面を得ることが困難であった。しかし板厚は十分均一で上式で算定しても誤差はきわめて少いことが確かめられた。かつ切断中および取扱途上のミルスケールの剝離による誤差をなくするために、試験片は前もってショットブラストによりミルスケールを除去した。

試験片の深さ (厚さ) T は種々に変え、同一の切断条件の下で T の増加に伴う除去金属重量 W の変化がわかるようにした。

試験片重量の測定には 3,000 gr までは 1 目盛 1 gr、それ以上は 1 目盛 5 gr の台秤を使用した。

2・2 切断条件

Table 1 Cutting Tips Used

Style No.	Size No.	Orifice dia.	Expansion ratio
102	1	1.25	—
	3	1.65	—
	5	2.15	—
	7	2.96	—
108	1	0.935	1.26
	3	1.25	1.28
	5	1.75	1.27
	7	2.51	1.27

火口は Table 1 のごとく Style 108 (ダイバーゼントノズル火口) および Style 102 (単純ノズル火口) 両形式の、それぞれ口径の異なる数種の火口を使用した。

除去金属重量に影響すると考えられる主な要因として

1. 酸素圧力
2. 火口寸法
3. 切断速度
4. 鋼の初期温度
5. 酸素純度
6. 火口距離

の 6 つを取り上げ、これらについて Table 2 に示す条件の組合せにより実験を行った。酸素流量は先に第 1 報³⁾で求めた実験式のごとく圧力によって一定値に保ち、アセチレン流量はローターメーターで測定した。

3. 実験結果および考察

3・1 除去金属重量曲線および除去効率

今カーフに対して座標軸を Fig. 2 (a) のごとくにとって考えるとカーフ巾 a は、

Table 2 Cutting Conditions Employed

Item of test	Tip	Ox. press.	Speed	Preheat	Other variables
Oxygen pressure	102 #3	2~14 kg/cm ²	300 mm/min	Ac. 10 l/min	
	108 #3	3~15 "	300 "	Ac. 10 "	
Tip size and cutting speed	102 #1	3 "	150 "	Ac. 10 "	
	102 #3		800 "		
	102 #5				
	102 #7				
	108 #1	7 "	150 "	Ac. 10 "	
	108 #3		800 "		
	108 #5				
	108 #7				
Steel temperature	108 #5	7 "	300 "	Ac. 7~10 "	Temp. : R.T. 400, 700°C
Oxygen impurity	108 #5	7 "	150 "	Ac. 10 "	N ₂ : 0, 1, 5, 10, 15%
			300 "	Ac. 10 "	
Tip distance	102 #3	3 "	300 "	Ac. 10 "	Tip distance : 5~20 mm

(a)

(b)

Fig. 2 Analysis of removed metal vs. cut thickness curve.

$$a = f_1(T) - f_2(T) = f(T)$$

である。鋼の密度を ρ (gr/cm³) としカーフ巾 a を mm で表わせば除去金属重量 W はいうまでもなく次式のようになる。

$$W = \int_0^T a \cdot \rho \cdot 10^{-3} \cdot dT = 10^{-3} \cdot \rho \cdot \int_0^T f(T) \cdot dT$$

この W は一般に Fig. 2 (b) のような形となりこれを除去金属重量曲線とする。これから逆に

$$\frac{dW}{dT} = 10^{-3} \cdot \rho \cdot f(T) = 10^{-3} \cdot \rho \cdot a$$

$$\therefore a = \frac{1}{\rho} \cdot 10^3 \cdot \frac{dW}{dT} \dots \dots \dots (2)$$

Fig. 3 Effects of oxygen pressure on the removed metal,

Fig. 4 Effects of oxygen pressure on the metal removal efficiency and the kerf width,

すなわち除去金属重量曲線の微係数はカーフ巾に比例した大きさを示すことになる。

実験結果からは先ずそれぞれの切断条件ごとに Fig. 2 (b) のとき除去金属重量曲線を求めた。 T_m は楔形試験片における (切断可能) の最大切断厚さであって本実験のごとき平行試験片では T_m の切断は行い得ない。したがってこの T_m に対応する W の値は T_m より小さい範囲の実験値を外挿して求めることにした。この

ようにして求めた T_m に対応する W を最大除去金属重量 W_m とし切断酸素 1l に対する比を除去効率 η_r とした。

すなわち

$$\eta_r = \frac{W_m \cdot v}{V} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 η_r : 除去効率 (gr/l)

W_m : T_m に対応する除去金属重量 (gr/mm)

Fig. 5 Effects of tip size and cutting speed on the removed metal (tip style 102).

v : 切断速度 (mm/min.)

V : 切断酸素流量 (l/min.)

次にカーフ巾 a は前述のごとく除去金属重量曲線から求められるが、その値は一般に T によって変化し一定でないで次のようにして比較した。

すなわち W_m と T_m から次式で求まる a を平均カーフ巾 a_{mean} とした。

$$a_{\text{mean}} = \frac{1}{\rho} \cdot 10^3 \cdot \frac{W_m}{T_m} \quad (4)$$

しかし実際の切断においては T が T_m にきわめて近いような切断はなく、 $T=0$ から $T < T_m$ の範囲のカーフ巾がほぼ均一な部分が問題となるのでこれを上部カーフ巾 a_{top} とした。すなわち

$$a_{\text{top}} = \frac{1}{\rho} \cdot 10^3 \cdot \frac{W_t}{T_t} \quad (5)$$

なおここにあげた T_m の値は第 1, 2⁴⁾, 3 報⁵⁾に

CUTTING CONDITIONS

TIP	S. 108
OXYGEN	7 kg/cm ²
ACETYLENE	10 l/min

Fig. 6 Effect of tip size and cutting speed on the removed metal (tip style 108).

ける実験値または実験式による計算値を採用した。

3・2 酸素圧力の影響

Style 108 #3 および 102 #3 火口につき切断酸素圧力を種々に変えた場合の結果は Fig. 3, 4 のようになった。

Fig. 3 は除去金属重量曲線で酸素圧力の変化に伴う除去重量の変化の様子を示している。Style 102 #3 火口についてみると酸素圧力 $P=2, 3, 4 \text{ kg/cm}^2$ では曲線の比較的直線に近い部分が長く、かつその勾配がゆるやかである。しかし $P=8, 14$ と高压になるに従い曲線は全体にわたって大きく彎曲し、接線の勾配も大となっている。Style 108 #3 火口についてもほぼ同様の傾向がみられる。ただしこの場合は $P=7$ までは勾配はほとんど変化していない。

Fig. 4 は除去効率 η_r およびカーフ巾 $a_{\text{top}}, a_{\text{mean}}$ を圧力に対してプロットしたものである。 η_r は 102 #3 火口では $P=3$, 108 #3 火口では $P=7$ 付近で最大となっており、その値はいずれも $5 \sim 5.2 \text{ gr/l}$ となっている。上部カーフ巾 a_{top} はそれぞれ $P=3, 7 \text{ kg/cm}^2$ 程度まではほぼ一定であるが、 P がそれ以上大になると漸次増大している。 a_{mean} もほぼ同様の傾向を示している。

切断効率 η は第 1 報のごとく Style 102, 108 それぞれ $3, 7 \text{ kg/cm}^2$ で最大となり、 P がこれより小または大になるに従い η は減少することが判明した。これを以上の結果と併せ考えると、 η が最大となる P では η も最大でかつカーフ巾も小さい。 P がこれより大となると η_r が減少し、かつカーフ巾が増大する。したがって η は減少することになる。 P が前記値より低下するとカーフ巾は大差ないが η_r が減少し η が低下することになる。なお切断面は P が η_r 最大となる値より高くなるほど不良となることが肉眼の観察により認められた。

3・3 火口寸法および切断速度の影響

標準酸素圧力 (Style 102 で 3 kg/cm^2 , 108 で 7 kg/cm^2) 標準火口距離 (10 mm) の場合の実験結果は Fig. 5, 6 のようになった。

Fig. 5 の 102 #1 火口の例についてみると、 $v=150, 300, 450 \text{ mm/min}$ となるに従い最大除去重量 W_m が減少している。しかし曲線はほとんど直すぐで、この速度範囲ではその勾配はほぼ一定である。すなわちカーフ巾はほぼ一定となる訳である。102 #3 も同様の傾向を示しているが $v=800$ では勾配がかなり大となっている。102 #5 では原点近傍の勾配は $v=450$ ですでにかなり大きくなっている。102 #7 では $v=300$ ですでに $v=150$ よりも大となっている。

Fig. 6 は Style 108 火口の結果であるが Style 102 の場合と同様に、切断速度が増すほど最大除去重量が減

Fig. 7 Metal removal efficiency vs. cutting speed.

少し、原点付近の曲線の傾斜はある速度以下ではほぼ一定で、速度がそれ以上になるとこの傾斜は増大している。

以上の傾向をさらに明りように表わすために除去効率 η_r および平均カーフ a_{mean} 巾と上部カーフ巾 a_{top} を示すと Fig. 7, 8 のようになった。Fig. 7 において多少のバラツキはあるが除去効率 η_r は切断速度 v の増加に伴ってほぼ直線的に大となっているが火口寸法による差異はあまりみられないようである。Style 102 と 108 とを比較すると v が大となると 102 のほうが若干 η_r が大となっている。

次に Fig. 8 における上部カーフ巾 a_{top} は v のある値以下ではほぼ一定値と見なしうが v がそれより大となると漸次増大している。しかしこの v は前述のごとく火口口径が大となるほど低速側に移っている。たとえば Style 108 #1 では $v=150, 300, 450$ では a_{top} はほとんど変わらないが、#7 火口になると $v=150$ と 300 では a_{top} に相当の差異がみられる。

一方これに反して平均カーフ巾 a_{mean} は各火口とも $v=450$ 位まではほとんど変わらず、 v がそれ以上になる

Fig. 8 Kerf width vs. cutting speed.

と急激に増大している。

第1報において $\frac{\partial \eta}{\partial v} = 0$ から η 最大を与える v は火口寸法とは無関係に $v = 442 \text{ mm/min}$ であったが、このことは以上の結果から次のように解釈せられる。すなわち

$v = 442$ 以下では a_{mean} はほぼ一定であるのに対し v の増大に伴って η_r が大となるので η が増加する。 v が 442 mm/min 以上となると η_r は増加するがそれ以上に a_{mean} が大となり結果として η が減少する。

Fig. 9 Minimum kerf width as a function of tip orifice diameter and oxygen flow at standard pressure.

次に実際の切断においては a_{top} が大きな意義を有するものと思われる。今 Fig. 8 において v を零に外挿した a_{top} の値を得られる最小のカーフ巾 a_{min} としてこれを火口口径 d および酸素流量 V に対してプロットすると Fig. 9 のようになった。火口口径 d と a_{min} に関しては次のような関係式が得られた。

$$\text{Style 102 } a_{min} = 1.22d + 0.2 \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Style 108 } a_{min} = 1.48d + 0.3 \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 a_{min} : 最小カーフ巾 (mm)

d : 火口口径 (mm)

同一口径 d に対しては a_{min} は Style 108 のほうが大となるが流量に対しては Fig. 9 の上図のように 108 のほうが小となっている。

なお肉眼による観察の結果では同一火口では Fig. 8 の a_{top} の値が大となるほど切断面は不良であった。したがって美しい切断面を得るには火口口径が大となるほど切断速度を下げねばならない。

3・4 鋼温度の影響

Style 108 #5 火口で切断速度 $v=300, 450 \text{ mm/min}$ とし予熱温度を $400, 700^\circ\text{C}$ とした場合の結果は Fig. 10

Fig. 10 Effects of steel temperature on the removed metal.

のごとくであった。いずれの速度においても予熱温度の高いほど最大除去重量が大となり、かつ曲線がなめらかとなっている。 η_r および a_{top} , a_{mean} を予熱温度に対してプロットすると Fig. 11 のようになり、温度の高いほど η_r は大となり逆に a_{top} , a_{mean} はともに減少しかつその差が少くなっている。すなわち高温になるほどカーフ巾は狭く、上端から下端にわたって均一となることを示している。

3・5 酸素純度の影響

酸素不純物として N_2 を 1, 5, 10, 15% 添加した場合の結果を Fig. 12 に示す。切断速度 150 と 300 mm/min ではやや異なった傾向を示しているが、しかしいずれの場合も板厚がきわめて小なる部分 ($T=0$ 近傍) では曲線の傾斜は純度による差異はないが T がそれ以上大になると曲線は純度の低下するほど上方に向い、カーフ巾の大なることを示している。

3・6 火口距離の影響

Style 102 #3 火口で火口距離を 5, 10, 20 mm に変えた場合の結果は Fig. 13 のごとくであった。最大除去

Fig. 11 Effects of steel temperature on the metal removal efficiency and the kerf width.

重量は火口距離の小なるほど若干増大している。その他カーフ巾特に a_{top} も若干影響をうけるようにみられる。

3・7 化学反応式との相違

鉄の燃焼の反応式は次のように示されている。

したがってこの式からは 1l の酸素により 3.54 gr の鉄が完全に燃焼されることになる。本実験では火口から噴出する酸素流量をとっているので、この中のいくらかは酸化反応にあずからないものと考えられる。したがって真の消費量に対する除去金属重量は以上の η_r (gr/l) の値よりも大となるはずである。しかし今かりに η_r をとって比較しても 3.54 gr/l という値はごく特殊な場合に限られており、一般には上式で表わされるよりはるかに大量の Fe が除去されることが判明した。たとえば Fig. 7 の Style 102 火口 $v=800$ の場合 η_r は約 9 gr/l でこれは上式の約 2.5 倍の量となる。

このような差異は既述のごとくスラッグの組成上の変化と、酸化燃焼に関与した酸素量の流量に対する割合の変化とによるものと思われるがこの点については今後さらに調査を要するものと考えられる。

Fig. 12 Effect of oxygen impurity on the removed metal.

Fig. 13 Effects of tip distance on the removed metal.

4. 結 言

鋼のガス切断において単位切断長当り切断反応によって除去される金属重量を測定し種々なる切断条件と切断板厚によってどのような変化を示すかを調査した。その結果を要約すると以下のごとくなる。

(1) 酸素流量に対する最大除去金属重量の比(除去効率)はある特定の圧力付近で最大となり、圧力がそれより小または大になるに従い低下する。この圧力は最大の切断効率を与える圧力とほぼ一致する。カーフ巾はこの圧力以下ではほぼ一定であるが、この圧力以上になるとしだいに大となる。

(2) 除去効率は切断速度が大になるに従い、ほぼ直線的に増加する。しかし火口寸法による相違はほとんどみられない。

(3) カーフ巾は火口寸法の影響を受ける他に切断速度によって相当に異なる。すなわちある特定の速度以下ではほぼ一定であるが、この速度以上になるとしだいに大となる。この速度は火口寸法が大きくなるほど低速側へ移る。

(4) 鋼の初期温度が高いほど除去効率が高くなる。

カーフ巾が小となる。

(5) 酸素純度が低下するほどカーフ巾が大となる。また火口距離も除去効率、カーフ巾に若干影響を有する。

(6) 鉄の燃焼の化学式によれば1lの酸素により3.57 grの鉄が酸化せられるが、見かけの酸素消費量に対する除去効率でも一般にはこれよりも高い値を示し、ある場合にはこの値の約2.5倍にもなった。

謝 辞

本実験を行うに当っては大阪大学工学部大西巖教授、同水野政夫助教授ならびに当社造船工作部吉田部長から御懇切な御指導を賜った。ここに謹んで感謝の意を表する。

文 献

- 1) 溶接学会編「溶接便覧」丸善、(1956) p. 303.
- 2) たとえば中村度一、中村吉宗「ガス切断に関する研究(第2報)」溶接学会誌、第23巻第9、10号(昭29) p. 23~p.27.
- 3) 吉田、水津、安田「ガス切断に関する二、三の実験(1)」溶接学会誌、第29巻第2号(昭35) p. 51~57.
- 4) 水津、安田「ガス切断に関する二、三の実験(2)」川崎技報第20号(1959).
- 5) 水津、安田「ガス切断に関する二、三の実験(3)」川崎技報第20号(1959).

研究会の動き

○ J.I.W.-X 委員会

日 時 昭和36年2月16日 10.00~17.00

場 所 川崎製鉄 K.K. 静観荘(神戸)

造船協会電気溶接研究委員会第7分科会と合同で開催され、木原委員長以下30名が出席した。

主として1961年度 I.I.W.-X 委員会に提出する資料について提出者より説明があり活発な討論が行われた。

○ J.I.W.-XV 委員会

日 時 昭和36年3月15日 14.00~17.00

場 所 東大建築工学科会議室

仲委員長以下13名が出席した。議事は次の通り

1. '60年度 Liege 大会の経過報告

2. '61年度 Liege 大会について

i) すみ肉溶接の実験計画について日本分担分の再確認と実験詳細の検討

ii) 振りをうける溶接継手の応力の検討

iii) アメリカ提出の「アルミニウムの溶接」(XV-122-61)について日本側は賛成してもよい。

iv) その他の配付された I.I.W. Doc. について検討

3. 次回は i) について再検討するため4月上旬開催の予定

○ 溶接冶金研究委員会(第4回)

日 時 昭和36年3月28日

場 所 金属材料技術研究所溶接庁舎会議室

関口委員長以下26名が出席、第5分科会担当で「高温性能」に関する次の講演が行われた。

1) 「ステンレス鋼の溶接熱サイクル途上における高温延性に関する研究」

金材研 馬田豊昭君

2) 「耐熱鋼 LCN-155 ローターの溶接について」

三菱造船 黒川常夫君

代理 佐藤正孝君

3) 「クラッド鋼大型溶接継手の高温における応力破断に関する研究」

金材研 馬田豊昭君

以上3講演終了後、金材研第6部融接研究室長稲垣道夫氏の案内で同所溶接研究室を見学した。

次回は第3分科会「新溶接法の溶接冶金」について5月下旬~6月上旬に開催する予定。

詳細は第3分科会において計画立案する