49 酸素切断火口に關する研究

木 原 博* 上田虎之助**

狐塚泰治*** 豊岡昭正****

Fundamental Experiments on Oxy-Accetylene Gas Cutting Torch

By H. Kihara,*

T. Ueda**

Abstract

The Purpose of this investigation was to compare working efficiency of divergent nozzle and straight nozzle. From the nature of divergent nozzle which is primarily designed by the amount of oxygen flow and the throat area, oxygen pressure of a given divergent nozzle has to be always kept at constant pressure. Therefore, experiments were carried out with each 2 sets of divergent and straight nozzles having design variables as shown below:

- 1) Oxygen pressure: 3.5 kg/mm.
Amount of oxygen flow: 2766 l/hr
- 2) Oxygen pressure: 4.0 kg/mm.
Amount of oxygen flow: 3806 l/hr.

Keeping other factors at constant, structural steel of 12, 20, 25 and 50 mm thickness were gas cutted with various cutting speed by both type of nozzles. Equal results were obtained by either type, that is, cutting speed at zero drag and maximum cutting speed obtainable were found to be exactly equal. Since the amount of oxygen flow is different; above result shows that the cutting efficiency of divergent nozzle is superior to that of straight nozzle. 27.4% of oxygen consumption can be saved by using divergent nozzle.

Ideal shape of divergent nozzle for different thickness of steel plate, that is, proper operating pressure and throat area are to be obtained through repeated and systematic investigation of this kind.

1. ま え お き

わが國において一般に用いられているガス切断用チップはいわゆるストレート・ノズル(Str.)と称せられるもので、酸素を円筒状の噴出口から噴出せしめ、その周囲に同心円的に予熱焰(酸素とアセチレンの混合ガス)を出すようにしたものである。しかしその円筒状の噴出口は切断すべき鋼板の厚さの増大につれてその直径を大きくし酸素の圧力も大にして酸素の供給量を多くしている。しかし酸素の圧力が相当大きくなると、その噴出口の出口は大気圧であるため酸素の流れは亂れる傾向があるが、單なる円筒形を用いずに、途中の直径を出口の直径よりも適当に小さくしたものすなわちダイバーゼント・ノズル(Div.)を用いれば出口における酸素圧力を1気圧に近くすることができて酸素の流れは美麗になる。換言すれば Div. を用うれば圧力を速度に変換して美麗な酸素の流れが得られる切断面は美麗になるばかりでなく、切断速度が一定ならば酸素使用量

の節約が可能となり、酸素使用量一定ならば切断速度を大にすることができ、また切溝の幅(カーフ)も小さくし得るのである。

この Div. ノズルの空氣力学的研究は現在東大教授谷一郎博士の下で行われているので、今回はこのノズルの予備的実験結果のみを報告するに止める。

2. 研究方針及び實驗方法

2.1 一般

Div. ノズルは酸素の使用圧力によつて、出口の直径に対する最小直径部(スロートと呼ぶ)の比が定まり、酸素の流量によりスロートの直径が定まるのである。従つて鋼板の厚さに應じて酸素の適当な流量と適当な使用圧力が存在するはずであるがこの問題を系統的に實驗研究する前に果して Div. ノズル

*** 正員, 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University.

は通常の Str. ノズルに比較して研究の対象になり得るほど優秀なものであるか否かの予備実験を行うことにした。そこで厚さ25mmの鋼板の切断に適すると予想されるノズルを Str. 及び Div. のもの各々1本のみについて実験を行う方針をたてた。

2.2 調査

この研究の立脚点を25mm鋼板の切断におくためわが國の各造船所における25mm鋼板の切断に関する現状をまず調査したが、その結果は第1表の通りである。

第1表 我國造船所に於ける25mm鋼板
のガス切断に関する資料

造船 所名	西日本 (長崎)	中日本 (神戸)	日立 (因島)	日立 (櫻島)	三井 (玉)	川崎 (艦船)	浦賀 (浦賀)
切断速度 cm/min	210	200	200	310	350	240	200
酸素 昇位長 さ当り の l/m	260	300	300	—	—	280	350
消 費 量 昇位時 間当り //hr	3270	3600	3600	—	—	4030	4200

2.3 切断機

実験に際しては手による切断を避け、自動ガス切断機を採用することにした。実験のためにはチップが動く自走式の切断機よりも鋼板を動かす定置式の切断機の方が望ましいのであるが、適当なものが見当らなかつたので日立造船所の櫻島工場の御好意により自走式自動ガス切断機を用いて実験を行うことにした。

この自動切断機の減速方法はウォーム歯車と平歯車5段によるもので駆動輪は片側のみである。速度調整は発電機反作用型であるため単に摩擦を利用した他の型式のものに比し、速度調整は円滑でしかも安定である。電源が100Vの場合調整可能な速度範囲は0~55cm/min.であるが、さらに電源を変圧器で調整して0~75cm/min.まで調整範囲を拡大して実験に使用した。なおチップを走らすレールはがたつきをなくするため特に新製して実験の正確を期した。

2.4 ノズル

(a) Str. ノズル——25mm鋼板を口径約1.3mmの Str. ノズルを用いて切断を行う時の適当な酸素使用圧力を櫻島工場のガス切断工に決定してもらつたところ、4kg/cm²の値を得たのでこの実験にはすべてこの圧力を採用することにした。後述するとく

の際の酸素流量は約3800l/hrで通常わが國で用いられている現状とほぼ一致している。(第1表参照)

(b) Div. ノズル——Div. ノズルは Str. ノズルよりも切断速度あるいは酸素消費量の点で能率が良いものと仮定のもとに酸素圧力3.5kg/cm²を使用し流量を約3000l/hrになるように設計し、実験はすべてこの圧力を使用することにした。

2.5 切断中の酸素圧力の保持

Str. ノズルに対しては4kg/cm²、Div. ノズルに対しては3.5kg/cm²の圧力を常に保持するために、圧力調整器とチップとの間に(すなわちチップの根本に)精密圧力計を取付け、その指示圧力を常に一定になるように圧力調整器を手まめに調節した。しかしてその精密圧力計の指示を規定圧力の±0.1kg/cm²の範囲内に保持することができた。

2.6 予熱焰及チップと鋼板との距離

予熱用混合ガスの噴出はわが國において通常用いられている形状すなわち酸素噴出口と同心円的な形状を採用し、Str. ノズルも Div. ノズルもともにほぼ同一の予熱焰を出し得るようにした。そしてチップと鋼板との距離はホアイトジェットが板に接触する程度すなわち約4mmに保持した。

2.7 酸素の純度

酸素の純度は切断速度あるいは酸素消費量に大きな影響を持つているので、実験に使用する酸素は使用前に各ボンベごとに分析を行い、99.3~99.5%の範囲のもののみを用いた。

2.8 鋼板

実際の作業に当つては鋼板の厚さに應じて、ノズルあるいは酸素圧力を変えるべきであるのに25mm鋼板に適當だと思われる条件をそのまま他の厚さの鋼板の切断に採用することは無謀であることはいうまでもない。しかし Div. ノズルは使用圧力が設計の時から定つているのであつて鋼板の厚さに應じて圧力を変化することは Div. ノズルの本質にもとるわけである。従つて Div. ノズルと Str. ノズルの比較をするのがこの実験の目的である以上、Str. ノズルの圧力を変化しては比較にならないのである。そこで25mm鋼板の切断に適當していると思われる条件(ノズルの入口の圧力)を常に一定に保ちながら、できるだけ多くの各種の厚さの鋼板を切断速度のみを変化して実験を行つてみることにした。すなわち12, 20, 25, 及50mmの4種類の厚さの構造用軟鋼板を切

断実験に使用した。その化学組成に関しては分析の結果を次に示す。C0.19~0.26%, Mn0.14~0.19%, Si trace~0.06%, P0.020~0.027%, S0.042~0.080%

2.9 鋼板の表面状況

鋼板表面に存在するペイント及び銹等は予想熔により除去されるが、切断速度に影響を及ぼすおそれがあるので、赤銹のひどいものはグラインダーで除き、その他のものはガス、バーナーで表面を加熱しさらにワイヤブラシで銹を除去して実験に供した。

2.10 切断速度

切断速度をある程度早くすれば第1図に示すごとく遅れ (drag) を生じ始め、切断速度の早くなるにつれて遅れも大きくなる。

わが国では通常この遅れの無い (zero drag) 切断をする習慣があるが、アメリカでは経済的切断のためにはむしろある程度の遅れを必要すると考え、標準遅れ (standard drag) というものをもきめているほどである。従つて切断速度と遅れとの関係を Str. ノズルと Div. ノズルの両者について調べることにして切断速度を大体ゼロ・ドラッグから切断できなくなる最高速度までの範囲に渡つて実際に切断してみることにした。

Fig. 1. Plate section and drag

3. 実験結果

3.1 ノズルの切断酸素消費量の測定

ノズルの切断酸素消費量の測定には予熱熔用の酸素調整弁は止めておき、切断用酸素のみを規定圧力で30分間噴出せしめて測定した。すなわち酸素噴出前のボンベ内の圧力と30分間噴出せしめた後のボンベ内の圧力を測定すればボンベの容積は判つているから酸素消費量は容易に計算できるはずである。ボンベ内の圧力を測定する圧力計は最大圧力 160 kg/cm² で精度は ± 2 kg/cm² のものを採用した。

第2表は各ノズルの酸素消費量の実測値である。Div. ノズルは使用圧力 3.5 kg/cm² で 3000 l/hr で設計したが、実測値は 2766 l/hr で設計よりもスロー

第2表 ノズルの単位時間当りの切断酸素消費量

ノズル	入口の酸素圧力 (kg/cm ²)	0.5時間噴出せしめた前後のボンベ内の圧力 (kg/cm ²)		ボンベの容積 (l)	単位時間当りの消費量 (l/hr)
		噴出時	噴出後		
Str.	4	138	83	34.6	3806
Piv.	3.5	62	28	40.7	2766

ト部の直径がやや小さくでき上つていたものと思われる。そして出口の直径は設計値よりもやや大きかつたので、この試作ノズルは 3.5 kg/cm² よりも、もつと高い圧力に適するノズルと考えられるが、この実験に際しては設計値の 3.5 kg/cm² の使用圧力を採用した。

3.2 切断速度と遅れとの関係

前述せるごとく遅れの無いゼロ・ドラッグ速度から切断し得なくなる最高速度までの切断を厚さ 12, 20, 25, 及び 50 mm の鋼板に関して行つた実験結果において、切断速度と遅れとの関係は第3表に示すごとくであり、これを図示したものが第2図 (a), (b), (c), (d), である。

第3表 各種板厚に対する切断速度と遅れとの関係 (実測値)

切断速度 cm/min	遅れ (mm)			
	板厚 (mm)			
	12	20	25	50
20.3	—	—	2.4	—
31.1	—	—	2.8	—
36.7	—	1.2	—	—
37.5	—	2.3	—	—
51.5	—	—	20.3	—
52.9	—	3.0	—	—

Fig. 2-a Cutting speed and drag length
THICKNESS OF PLATE : 50MM.

Fig. 2-b. Cutting speed and drag length.
THICKNESS OF PLATE : 25MM.

Fig. 2-c. Cutting speed and drag length.
THICKNESS OF PLATE : 20MM.

Fig. 2-d. Cutting speed and drag length.
THICKNESS OF PLATE : 12MM.

Fig. 2-e. Cutting speed and drag length.

比較のために (a). (b). (c). 及 (d) の曲線だけを 1つの図に示したものが第2図(e)である。切断速度と遅れとの関係を表わす切断面の模様は第10~15

図の写真に示されている。

3.3 切断不可能となる場合の現象

厚板の切断においては第1図に示すごとく、鋼板の表面よりも下面の方が酸化が遅れるため切断遅れ (drag) を生ずる。Div. の方が Str. よりも同一切断速度に対して酸素量が少いためこの遅れは大となる傾向にあるのは当然でまたノズルのいかに問わず切断速度すなわちノズルの移動速度が大になるにつれてこの遅れが大となるのも当然であり、この様子は第2図を見ても明らかである。従つて切断速度を余り大にすると、遅れは益々大きくなり、第3図に示すごとく酸素流は未だ切断されない面 A B のために

図の矢印のごとく曲げられ、切断面の下面に附着したスラグを吹き飛ばすこともできず、そのスラグに衝突して逆にスラグを切断面の中に巻き上げる傾向になり、切断面がスラグを作つてきたなくなるばかりでなく遂には切断不可能となる。薄板の場合は表面と下面の温度差が少いため同一切断速度に対しては厚板の場合よりも遅れの小さいのは当然であるが切断速度を余り大にすると第3図に示す厚板のような現象は起きないが、ノズルの移動速度が酸化速度よりも大となり切断不可能となる。

Fig. 3. Cutting speed too fast.

板の場合よりも遅れの小さいのは当然であるが切断速度を余り大にすると第3図に示す厚板のような現象は起きないが、ノズルの移動速度が酸化速度よりも大となり切断不可能となる。

3.4 切り溝(kerf)の幅

実験の目的から単位時間当りの酸素流量を一定にしたのでカーフの幅は実験の対象にはしなかつた。酸素流量が一定なため板厚によつても余りカーフの幅には大差は生ぜず 1~2mm 程度であり、Div. の方が Str. よりも幾分その幅が狭かつたのはいうまでもない。

3.5 切断速度と板厚との関係

第2図(e)の曲線から各板厚に対するゼロドラッグの場合及び切断可能な最高速度を求めると第4図が得られる。この図より明らかのごとくゼロドラッグの場合は Div. も Str. も同一の切断速度を有し、最高切断速度は Div. の方が Str. より約 2cm/min. 大であるが、その差はほとんどないと言つても良い程

度である。第4図に示す点線は従来の標準(後述する))を示す。

Fig. 4. Cutting speed and plate thickness.

3.6 酸素消費量と板厚との関係

この実験においては単位時間当りの酸素消費量は各々のチップについては一定に保つたのであるが、単位長さ当りあるいは単位面積当りの酸素消費量は各チップにより、また各板厚によりそれぞれ異なるのは当然である。これらの消費量は切断速度さえ与えられれば容易に計算できるから(第4表参照)これらを図示すれば第5図及び第6図が得られる。これらの図において点線は従来の標準(後述する)を示す

第4表 切断速度及酸素消費

条件	板厚	切断速度 cm/min		切断酸素消費量					
				単位時間 当り l/hr		単位長さ 当り l/m		単位面積 当り l/cm ²	
		Str.	Div.	Str.	Div.	Str.	Div.	Str.	Div.
セグの場 合	12	38	38	3806	2766	167	121	1.39	1.01
	20	32	23	〃	〃	198	144	0.99	0.72
	25	28	28	〃	〃	223	165	0.89	0.66
	50	16	16	〃	〃	396	288	0.79	0.58
最高の切 断速度	12	64	66	〃	〃	99	70	0.83	0.58
	20	58	60	〃	〃	109	77	0.55	0.39
	25	50	52	〃	〃	126	89	0.50	0.36
	50	28	30	〃	〃	226	157	0.45	0.31

Fig. 5. Plate thickness and oxygen consumption per unit length.

Fig. 6. Plate thickness and oxygen consumption per unit area.

4. 実験結果に対する考察

実験結果の項で述べたごとく(第4図参照) Div. 及び Str. のノズルはゼロ, ドラグの場合の切断速度及び切断可能な最高速度のいずれに対してもすなわち切断速度に関してはほとんど同一の性能を有していると言つても過言ではない。この事は Div. と Str. のノズルを比較する実験目的に対しては予期以上の好都合なことであつた。

前述せるごとくアメリカにおいては標準遅れ (standard drag) というものを各板厚に対して設けている点より考へて, 実際の切断に当つてはゼロ, ドラグでは切断速度は遅過ぎ, 切断不可能になる限界の最高速度では切断速度は早過ぎるのである。そこで今実験に供した Div. 及び Str. のノズルに対し流量一定(それぞれ 2766 及び 3806 l/hr)で各板厚に対し実際に切断作業を行う場合を考え、今ゼロ, ドラグの場合と最高速度の平均値の速度でガス切断を行うと假定する。すなわち Str. 及び Div. の切断速度に関する性能はほぼ等しいから, Div. ノズルに対する数値を採用し、12, 20, 25 及び 40mm の銅板に対しそれぞれ 52, 46, 40, 及び 23 cm/min の速度で切断する場合について考へてみることにする。この場合の酸素消費量は第5表のごとくなり切断速度は第7図に、単位長さ当り及び単位面積当りの酸素消費量はそれぞれ第8図及び第9図に示すごとなる

Fig. 7. Practical cutting speed obtained with nozzles used in the experiment

Fig. 8. Plate thickness and oxygen consumption per unit length. (Corresponding to cutting speed in Fig. 7)

Fig. 9. Plate thickness and oxygen consumption per unit area (Corresponding to cutting speed in Fig. 7)

Fig. 10 Div. Nozzle

Plate thickness 25mm
Cutting speed 51.5cm/sec
Drag length 20.3mm

Fig. 11 Div. Nozzle

Plate thickness 25mm
Cutting speed 31.1cm/sec
Drag length 2.8mm

Fig. 12 Str. Nozzle

Plate thickness 25mm
Cutting speed 26.3cm/sec
Drag length 3.4mm

Fig. 13 Div. Nozzle

Plate thickness 20mm
Cutting speed 36.1cm/sec
Drag length 1.2mm

Fig. 14 Str. Nozzle

Plate thickness 20mm
Cutting speed 37.5cm/sec
Drag length 2.3mm

Fig. 15 Str. Nozzle

Plate thickness 20mm
Cutting speed 52.0cm/sec
Drag length 3.0mm

第5表 流量一定した場合の実用切断速度と酸素消費量

板 厚 mm	切断速度 cm/min		切 断 酸 素 消 費 量								
			単位時間当り l/hr			単位長さ当り l/m			単位面積当り l/cm ²		
	Str. 及び Div.	標準	Str.	Div.	標準	Str.	Div.	標準	Str.	Div.	標準
12	52	39.4	3806	2766	1430	122	89	61	1.02	0.74	0.51
20	46	32.6	◇	◇	2200	138	100	113	0.69	0.50	0.57
25	40	29.4	◇	◇	2650	158	115	150	0.63	0.46	0.60
50	23	22.4	◇	◇	4780	276	200	355	0.55	0.40	0.71

一般に各種の板厚に対する切断速度及び酸素消費量は次式で示される。

$$S = 11.5 T^{-0.38(9)} \quad (1)$$

$$V = 95.5 T^{-0.8425} \quad (2)$$

但し S: 切断速度 (in/min)

V: 1時間当りの酸素消費量

(cub.ft/hr)

T: 板厚 (in)

(1)式及び(2)式を用いて計算した切断速度及酸素消費量は第5表に示されており、第4～9図には点線で示しておいた。実験の目的から板厚のいかにかわからず酸素流量を一定としたために、20mm以下の薄板に対しては酸素の流量が多過ぎるので従来の標準

値に比べて切断速度がそれだけ大となるに反し(第7図参照)酸素消費量が薄い板ほど多くなる(第8、9図参照)傾向がみられるのはむしろ当然である。

第8図及び第9図の酸素消費量をみるにDiv.の方がStr.よりもばるかにすぐれた性能を有しているはすなわちStr.ノズルは50mm以外の板に対して、消費量が標準値よりも大であり、Div.ノズルは12mm以外の板に対しては標準値よりも小である。第8図の単位長さ当りの酸素消費量の曲線が板厚が零になつても消費量の零の点に集まりそうにないのは板厚が薄くなるに従ひ酸素量が益々過剰となるためである。第9図の単位面積当りの酸素消費量は従来の標準とは逆に板厚が薄くなるに従ひ大となつてい

るのも上記の理由による。一般に鐵が切断酸素により酸化される時には

の化学反応が起るものといわれているが、

の化学反応も充分起り得るのではないかと思われる。今切り溝の幅を2mmとするならば單位面積当りの酸素の必要量は(3)式及び(4)式によればそれぞれ0.416及び0.312l/cm²となり、この後者の値は第6図より明らかなごとくDiv.を用いて切断し得る最高速度に対する酸素消費量の限界値に非常に近い値である。しかしこれは單なる偶然にすぎないかもしれない。それは実際の切断においては熔融はしているが未だ酸化されていない鐵が酸素流で吹き飛ばされることもあるのですなわち切断される時に銅板から失われれば鐵はすべて酸化されているとは限らず、また切断酸素はすべて鐵の酸化に消費されたとは思われないので、切断現象を鐵が(4)式または(3)式によつて酸化される現象だと簡単に考えることはできないからである。

切断速度の性能の点においてDiv.とStr.と同一であるにもかかわらず、單位面積当りの酸素消費量においてStr.がDiv.よりも劣るのは酸素の亂流(前述したごとく4氣圧の酸素を單純な円筒口から1氣圧の大氣中へ噴出せしめるための亂流)のために相当量の酸素が無駄になつてゐることを示しているに過ぎない。すなわちStr.の3806l/hrに対しDiv.は2766l/hrであるから酸素消費量は27.4%の節約が可能なのである。

最後にこの実験から得られた結論を列挙すれば次のごとくである。

(1) 切断速度に関する性能が等しい場合には、その板厚のいかんを問はずDin.ノズルの方がStr.ノ

ズルよりも常に27.4%の酸素消費量の節約が可能なのである。このノズルがもし設計通り加工されていたならば切断能率をさらに改善せしめ得ることが期待される。

(2) この実験では酸素圧力を一定にしたため20mm以下の薄板の切断には酸素量が過剰であつて不適当であつたが、25mm以上の厚い板に対しては單位面積当りの酸素消費量をDiv.ノズルの使用によつて約0.3l/cm²にまで下げる事ができた。

(3) Div.ノズルは酸素の圧力を速度に変化せしめ得るので、切り溝の幅の狭い美麗な切断面が得られる以外に、切断速度が一定ならば酸素消費量の節約が、消費量が一定ならば切断速度の増大が期待され得るのである。

(4) 最も経済的な切断を行うのにDiv.ノズルを用ゐるにしてもその板厚に應じて酸素の圧力と流量をいかに選んだDiv.ノズルを採用すべきかに関しては、この予備実験のごとき実験を系統的に行ふことによつて明らかにし得ることが判つた。

なおこの実験でチップの予熱焰を一定にしたのでその影響を知ることはできなかつたが、予熱焰とノズルとの関係も切断能率には大きな影響を與えるものと思われるので今後研究を進めたいと思つてゐる。

5. あ と が き

この実験を行うのには日立造船の櫻島工場の御好意に負うところが多大であり、切断ノズルの試作に関しては田中製作所の御援助をいただき、ここに深甚の謝意を表するとともになおこの研究は文部省試験研究費交附を受けてゐることを僅しんで附記する次第である。