

# 宇宙 GHTA(Gas Hollow Tungsten Arc)熱源の切断技術への適用

高松工業高等専門学校 西岡亮, 吹田義一, 十川弘樹, 正箱信一郎, 佃芳行, 寺嶋昇

## Application of Space GHTA Heat Source to the Cutting Technology

Ryo Nishioka, Yoshikazu Suita, Hiroki Sogawa, Shinichiro Shobaka,

Yoshiyuki Tsukuda and Noboru Terajima

Institute of Takamatsu National College of Technology Chokushi, Takamatsu, Kagawa 761-8058

E-mail: [suita@takamatsu-nct.ac.jp](mailto:suita@takamatsu-nct.ac.jp)

**Abstract:** We proposed a new type arc cutting process with the DC-pulsed power supply using a GHTA (Gas Hollow Tungsten Arc) for space application. The arc cutting mechanism was clarified by the observation of the cutting situation in vacuum. The effect of the cutting parameters on the cutting form was investigated by the pure aluminum cutting experiments. The optimum cutting parameters for 2 mm plate thickness aluminum cutting were decided from the experimental results.

**Key words ;** Space GHTA Cutting, Vacuum Environment, DC-pulsed Power Supply

### 1. 緒 論

宇宙にはデブリや隕石など、国際宇宙ステーション ISS に損傷を与える原因になるものが多く存在する。そのため、ISS の 10 年を越える長期運用への対応や宇宙構造物の建造、月面基地建設などに宇宙加工技術が必要不可欠である。そこで、著者等は、1993 年に宇宙 GHTA (Gas Hollow Tungsten Arc) 溶接法を提案<sup>1)</sup>し、基礎的な研究を実施して模擬宇宙環境での宇宙 GHTA 溶接が可能<sup>2)</sup>であることを示した。しかし、宇宙では溶接以外の切断や熱間加工などの加工技術も必要になる。本研究では、GHTA 熱源の新たな利用法として切断技術に注目した。切断技術を確立することで、宇宙構造物の修理及び建造の効率化が可能になると考えられる。本研究では、真空環境下においてアルミニウム板を、直流パルス電源を用いた GHTA 熱源で切断する技術への適用を検討した。まず、直流パルス GHTA 切断の特徴を確認するため、各切断パラメータの影響をアルミニウム板において調査し、それらの結果を基に、最適切断パラメータを導出した。その結果、GHTA 熱源切断技術への適用の可能性を示す切断形態が得られたので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置および供試材

実験には Fig.1 に示す真空環境切断実験システムを用いた。実験システムは高周波アーク起動方式直流パルス溶接機、真空チャンバ、ロータリーポンプ (0.26 m<sup>3</sup>/s) で構成される。真空チャンバ内には、水冷方式溶接トーチ、供試材を直進移動させる走行台車、

直進移動用の DC モータ、ステンレス鋼製の切断金属回収治具が取り付けられている。同実験システムではチャンバ内を排気し、高周波を用いてアークを発生させ、所定の速度で供試材を直進移動させることで真空環境下での切断を可能にしている。また、チャンバに設置された窓から、切断状況を録画・観察した。アーク起動ガスには Ar ガスを用い、流量の制御には大きな流量に適したフロート式流量計を用いた。GHTA 溶接トーチには、外径 4 mm、内径 0.5 ~ 2 mm の 2%酸化ランタン(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)入り中空タングステン電極が装着されており、電極先端を頂角は 60° に成形した。

供試材には厚さ 2 mm の純アルミニウム板 A1100P を採用し、Fig.2 のように、縦 75 mm、横 150 mm に切断し、表面は受け入れ状態で脱脂処理したものを用いた。切断長は 80mm とし、アーク発生を容易にし、切断長を統一するため、切断開始点と切断終了点にため φ8 の孔を開けた。

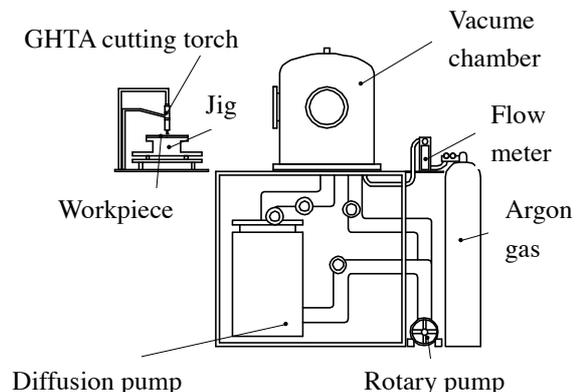


Fig. 1 Experimental apparatus for GHTA cutting experiment in vacuum

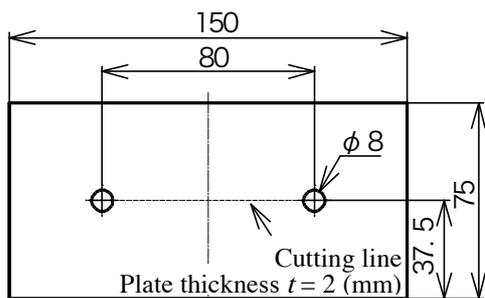


Fig. 2 Dimensions of workpiece

## 2.2 実験手順

切断パラメータ調査実験では、ベース電流を  $I_B=30$  A に設定し、パルス電流  $I_P$ 、切断速度  $v$ 、ガス流量  $Q_{Ar}$ 、パルス周波数  $F_P$ 、パルス幅  $w_P$ 、電極間隔  $H_E$ 、電極内径  $d$  の影響を調査した。各パラメータの切断形態への影響を比較調査するために Table 1 に示す基準切断パラメータを定めた。各切断パラメータの影響の評価には、切断平均幅、標準偏差を用いた。それらを基に、各切断パラメータの切断形態に及ぼす影響を考察し、最適切断パラメータを導出した。最適切断パラメータ導出実験では、Table 2 に示す、パラメータ調査実験において各パラメータの最適値を組み合わせたものを初期切断パラメータとした。そして、切断形態におよぼす影響が大きく、他のパラメータへの影響が小さいものを優先し、電極間隔 → ガス流量 → ベース電流 → パルス周波数 → パルス幅 → 切断速度の順で最適切断パラメータを導出した。この実験では、パラメータ調査実験の結果からベース電流を対象パラメータに加えた。また、装置の関係上、パルス電流は 210 A(最大値)、電極内径は 0.5 mm(最小値)で固定とし調査対象外とした。

実験時にはチャンバ内をロータリーポンプで荒引きし、切断開始前のチャンバ内圧力を 52 Pa とした。切断終了後のチャンバ内圧力は 130~200 Pa の範囲であった。

Table 1 Basic cutting parameters

Pulsed current	$I_P$	200 A
Base current	$I_B$	30 A
Pulse width	$w_P$	30 %
Pulse frequency	$F_P$	3 Hz
Argon flow rate	$Q_{Ar}$	Pure at 4 l/min
Cutting electrode		2%La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - tungsten
Electrode outer diameter $D$		4 mm
Electrode inner diameter $d$		2 mm
Electrode gap	$H_E$	3 mm
Cutting speed	$v$	6 mm/s

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 GHTA 切断現象の観察

直流パルス電源を用いた GHTA 切断現象の観察によって加熱過程(Heating process)と切断過程(Cutting process)の 2 過程で GHTA 切断が行われていることがわかった。Fig.3 に基準切断パラメータ (Table 1) による電流波形と切断状況を示す。加熱過程は、パルス 1 サイクル目のベース電流期間、パルス電流期間における被切断物の過熱・溶融期間と、2 サイクル目の溶融状態を保持するベース電流期間から成る。切断過程とはベース電流期間からパルス電流期間へ移るときに生じるアーク衝撃圧力およびアルゴンガス噴流力によって、溶融金属を吹き飛ばす過程である。この繰り返しにより GHTA 切断を可能にしていると考えられる。Fig.4 に供試材の切断結果を示す。この結果では、切断幅は太く、切断面は凸凹があつて整っていないことが確認できる。そのため、宇宙への適用は、このパラメータでは難しいとされる。そこで最適切断パラメータを定めるため、7 種のパラメータの影響を調査した。

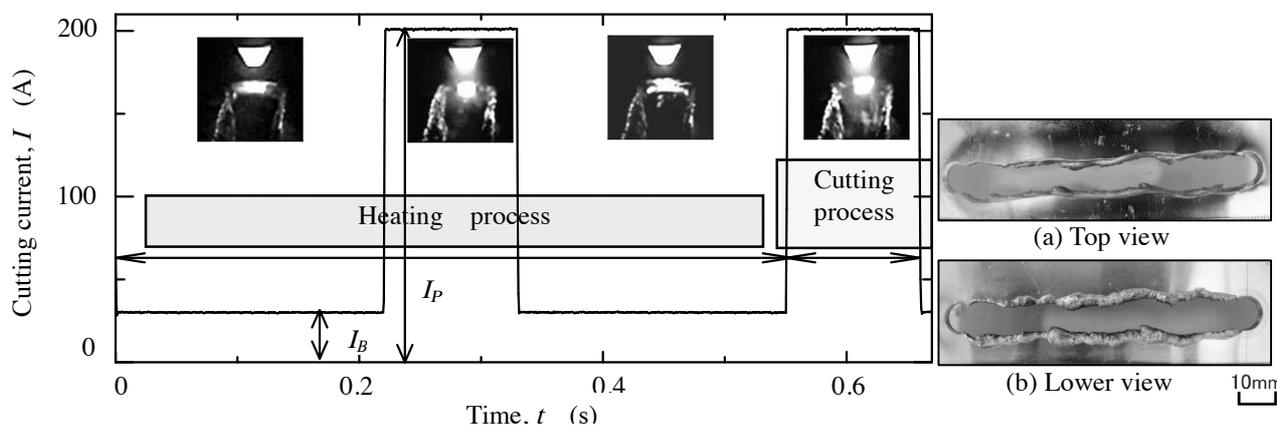


Fig. 3 Cutting current waveform and situation by DC-pulsed GTAW machine

Fig. 4 Cutting form due to basic cutting parameters

### 3.2 切断パラメータ調査実験（電極内径の影響）

本研究では、7種のパラメータの影響についての調査を行っている。ここでは、特に影響の大きい、電極内径  $d$  の影響について述べる。

Fig. 5 に電極内径を変化させた場合の切断形状の変化を示す。( $d=2$  mm の結果は Fig.4 を参照)また、Fig. 6 に平均切断幅  $W$ 、標準偏差  $S$  の関係を示す。GHTA 切断法では、アルゴンガス噴流力およびアルゴンガスの拡散の影響を大きく受ける。よって、本実験では、連続の式を用いて、見かけのガス流速が基準パラメータのガス流速に等しくなるように調整した。Fig.6 より電極内径が小さくなるにつれ、切断幅、標準偏差ともに小さくなる。これは、電極内径が小さくなることで、アルゴンガスの拡散が抑えられ、細い高密度のアークが得られるためと考えられる。アーク密度が高まることは、Fig.7 に示した基準切断パラメータ時の電極内径  $d=2$  mm と  $d=0.5$  mm のアーク形状からも確認できる

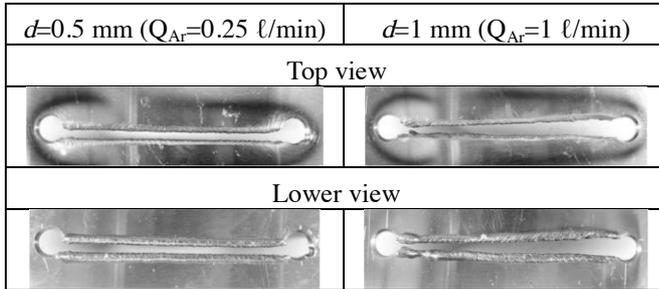


Fig.5 Effect of electrode inner diameter on cutting form 10mm

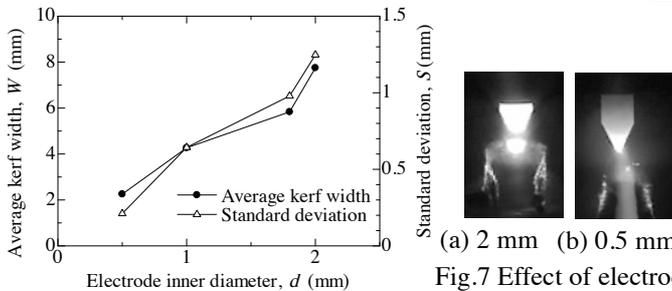


Fig. 6 Effect of electrode inner diameter on kerf width

### 3.3 最適切断パラメータ導出実験

最適切断パラメータ導出実験は、切断形態におよぼす影響が大きく、他のパラメータへの影響が小さいものを優先し、各パラメータの最適値を順に設定した。この実験では、パラメータ調査実験において、変化の影響が明確に出たパルス電流、電極内径は調査対象外とし、装置の性能上、パルス電流を最大値 210 A に、電極内径を最小値 0.5 mm に固定した。また、最適切断パラメータ導出実験の初期切断パラメータを Table 2 に、初期切断パラメータによる結果を Fig.8 に示す。Table 2 のパラメータは、パラメータ調査実験において、各パラメータの最適値を組み合わせ

せたものである。最適切断パラメータ導出実験において、切断形態に大きな影響を示したアルゴンガス流量の影響について次で述べる。

Table 2 Initial cutting parameters

Pulsed current	$I_P$	210 A (Max.)
Base current	$I_B$	30 A
Pulse width	$w_P$	30 %
Pulse frequency	$F_P$	80 Hz
Argon flow rate	$Q_{Ar}$	Pure at 2.5 l/min
Cutting electrode		2%La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - tungsten
Electrode outer diameter	$D$	4 mm
Electrode inner diameter	$d$	0.5 mm (Min.)
Electrode gap	$H_E$	2 mm
Cutting speed	$v$	8.3 mm/s

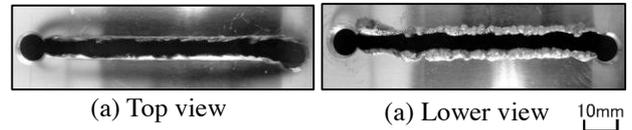


Fig. 8 Cutting form due to initial cutting parameters

#### 3.3.1 アルゴンガス流量の影響

パラメータ調査実験の段階では、ガス流量は小さくすることで、高密度のアークを作ることができ、平均切断幅、標準偏差が小さくなるという結果になったが、最適切断パラメータ導出実験より、アルゴンガス噴流力は切断に大きく関与していることが確認された。

ガス流量の変化による影響を Fig. 9 に、平均切断幅、標準偏差の変化を Fig.10 に示す。ガス流量が小さくなるにつれ平均切断幅は小さくなる。これは、ガス流量低下によりアークが収束し、細い高密度のアークが発生するためだと考えられる。しかし、ガス流量 2 l/min 未満では、アークの乱れが完全に無くなため、標準偏差の変化が無くなると考えられる。

しかしながら、Fig.9 の結果よりガス流量 1.8 l/min 未満では、Fig. 11(b)に示すような、切断面が曲面化し、最終には切断不可となることが確認できる。これは、ガス流量低下に伴うガス噴流力の低下により溶融させた金属を完全に吹き飛ばせなくなることが原因と考えられる。よって、GHTA 切断においてガス噴流力が切断に大きく関与していると言える。以上より、ガス流量が大きくなると、切断面は Fig.11(a) のような垂直になるが平均切断幅は大きくなる。逆にガス流量が小さくなると、平均切断幅は小さくなるが、切断面は曲面になる。そのため、均衡の取れた適切な値を選定する必要があるといえる。

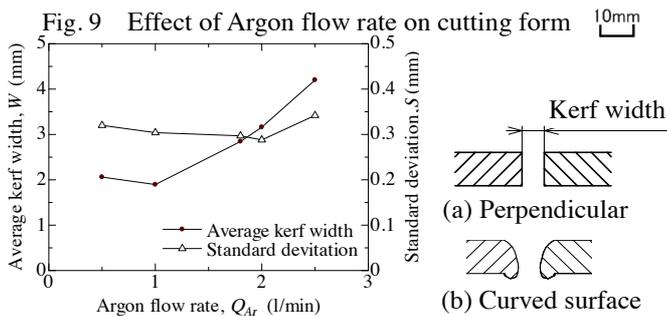
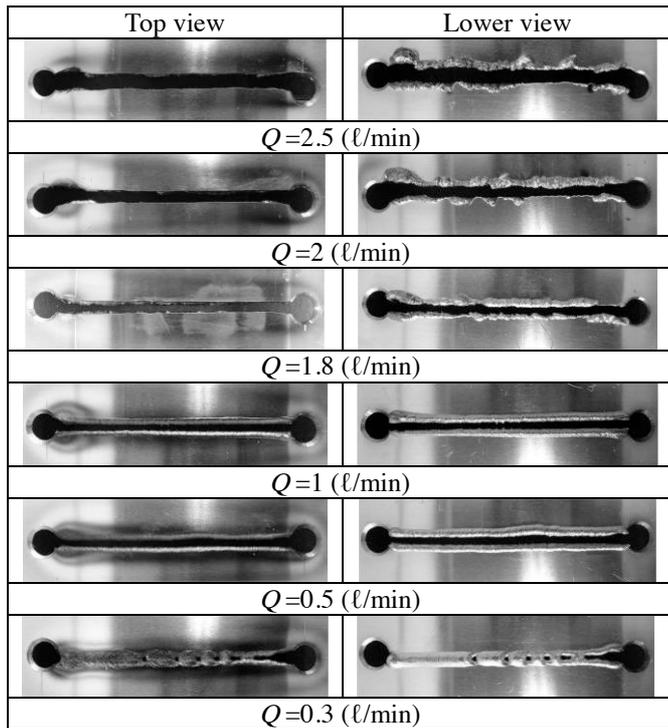


Fig. 10 Effect of Argon flow rate on kerf width

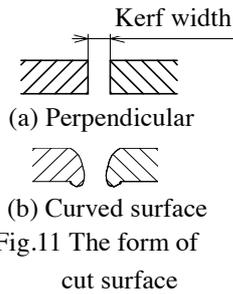


Fig.11 The form of cut surface

### 3.3.2 最適切断パラメータ

GHTA 切断法による切断現象を観察し、パラメータ調査実験により 7 種のパラメータの影響を調査した結果、GHTA 切断では、電極内径の調整により高密度のアークを発生させること、アルゴンガス流量の調整によりアルゴンガスを収束させ高密度のアークを発生させかつ、熔融金属を吹き飛ばすために十分なガス噴流力を与えることの 2 点が重要となることを確認した。

これらの結果を基に、最適切断パラメータを導出した。この実験では、電極間隔→ガス流量→ベース電流→パルス周波数→パルス幅→切断速度の順に最適切断パラメータを導出した。その結果、実用性の十分にある切断結果が得られた。ここでは、汎用性を検討するため、切断部の始末端に孔のない供試材を使用した実験も行った。その結果を Fig.12 に示す。これは、平均切断幅 2.15 mm、標準偏差 0.071 mm の優れた切断形態であり、始末端の孔の有無に関係な

く切断が可能であった。Table 3 に孔が無い供試材における最適切断パラメータを示す。ただし、始末端に孔がない場合、切断速度を遅くし孔がある場合に比べ、入熱量を増加させる必要がある。以上より、GHTA 熱源は切断技術において有効であると言える。

Table 3 Optimum cutting parameters

Pulsed current	$I_P$	210 A (Max.)
Base current	$B_P$	4 A
Pulse width	$w_P$	29 %
Pulse frequency	$F_P$	200 Hz
Argon flow rate	$Q_{Ar}$	Pure at 2.0 l/min
Cutting electrode		2%La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - tungsten
Electrode outer diameter	$D$	4 mm
Electrode inner diameter	$d$	0.5 mm (Min.)
Electrode gap	$H_E$	0.5 mm
Cutting speed	$v$	6.6 mm/s

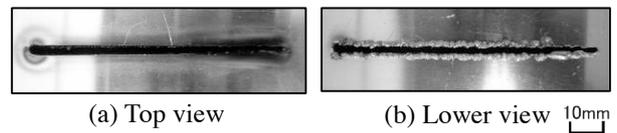


Fig. 12 Cutting form made with optimum cutting parameters

## 4. 結 論

GHTA 切断法によるアルミニウム板の切断実験を行い、以下のことを明らかにした。

- 1) 直流パルス GHTA 切断では、母材を加熱・熔融する加熱過程と熔融金属を吹き飛ばす切断過程の 2 過程の繰り返しにより切断している。
- 2) 優れた切断結果を得るためには、電極内径、電極間隔、ガス流量の調整により、高密度のアークを作り、ガス噴流力を高めることが重要となる。
- 3) パルス電流とベース電流の差を大きくし、アーク衝撃圧力を高めると切断面が整う。
- 4) パルス周波数の調整により、1 度に吹き飛ばす熔融金属量を減少させると切断面が整う。
- 5) GHTA 熱源を切断技術に適用できる可能性は十分にあると考えられる。

## 参 考 文 献

- [1] 吹田義一, 佃 芳行, 高木 隆, 黄地尚義, 増淵興一: 宇宙空間での GTA 溶接に関する研究(第1 報), 溶接学会論文集, 11(1993), pp.423-427.
- [2] 吹田義一, 増淵興一, 佃 芳行, 寺嶋 昇, 小笠原正信, 高橋 永: 宇宙空間での宇宙船・構造物の建造と修理を対象にしたアーク溶接法の開発, 日本機械学会論文集 C 編, 61 (1995), pp.2134-2140