

厚板切断用プラズマ電極の長寿命化技術の開発 ～プラズマ切断イノベーション～ (世界初) 放電部に炭化ハフニウムを採用した大出力酸素プラズマ切断装置の電極を開発

Plasma cutting innovation: development of a technology for a longer-lasting electrode for plasma cutting for thick sheets
Developed an electrode for high-output oxygen plasma cutting equipment that uses hafnium carbide for discharge (the world's first)

(法人営業部 エンジニアリングG)
(エネルギー応用研究所 生産技術G 次世代技術T)

(Engineering Group, Customer Service & Sales Department
(Next-Generation Technology Team, Urban and Industrial Technology
(Group, Energy Applications Research & Development Center)

プラズマ切断は、高温のプラズマにより鋼材を切断する手法であり、切断速度が速いため鋼材を切断する生産性が高く、イニシャル・ランニングコストも低いという利点があるが、プラズマを発生する電極の寿命が短いという課題があった。これを解決するために、新材料(炭化ハフニウム)を用いた電極を開発し、従来と比べて8倍以上の長寿命を達成した。これにより長時間の連続運転が可能となった。

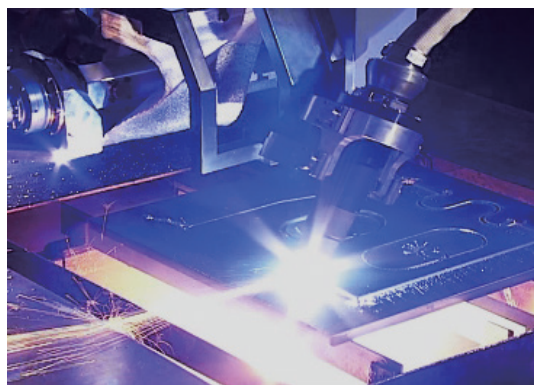
Plasma cutting is a method of cutting steel using plasmas at a high temperature. It has the advantages of a high productivity rate at cutting steel due to its high cutting speed, and low initial and running costs. However, it had the issue of the short life of the electrode that generates the plasmas. To resolve this problem, we developed an electrode made of a new material (hafnium carbide) and achieved a long life of eight times more than the conventional life. This development made long and continuous plasma cutting operation possible.

1 背景・目的

高温の熱で材料を溶かして切断する熱切断手法には、ガス切断、プラズマ切断、レーザー切断がある。このうち、プラズマ切断は、数100Aの大電流を用いた高温高速のプラズマジェットで切断材を溶融させ、吹き飛ばしながら切断する手法である(第1図)。ガス切断と異なり生産現場でのCO₂発生が無い。またガス切断やレーザー切断と比べて最も切断速度が速く、厚物鋼材の切断が可能という特長を有していることから、造船、橋梁、建設機械等の大物鋼材の製造分野で使用されている。

プラズマガスには任意のガスを使用することができる。鉄鋼材料を切断する場合、酸素をプラズマガスとして用いて酸素と鉄鋼材料の酸化反応熱も利用して切断温度を上げ、厚板の切断性能を向上させている。そのため、電極には融点が高く、酸化しても融点があまり下がらないハフニウムなどの金属材料が用いられている。それでも電極の消耗は避けられず、頻繁な取り替えが必要である。これに伴う生産性の低下、電極消耗に伴う切断品質の低下の点から、電極の長寿命化は酸素プラズマ切断の最重要課題となっていた。

今回、長寿命化を目的に、より高融点の導電性セラミ



第1図 プラズマ切断の様子

ックスである炭化ハフニウムを材料に用いて酸素プラズマ切断機用の電極を日酸TANAKA株式会社と共同で開発した。

2 開発内容

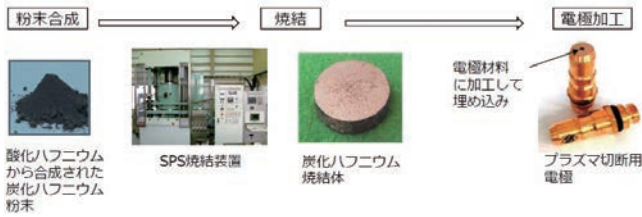
2.1 新材料「炭化ハフニウム」による電極の開発

今までのプラズマ切断用電極は放電部に金属ハフニウム(以下、ハフニウム)を用い、水冷構造を持つ銅製の電極ブランクに放電部を埋め込んだ「ハフニウム電極」と言われるものであった。酸素プラズマ切断用電極には、高融点かつ導電性が求められるが、酸素雰囲気かつ非常に高温という過酷な環境下にあるため、ハフニウム以外の材料が実用化された例はない。しかしハフニウムは融点が2,233℃と高いものの、今後益々産業界から要望される酸素プラズマの高出力化に対しては、電極消耗が大きいため対応ができない状況であった。また、赤外線ヒータのフィラメントに使用されるタングステン(金属中最高融点3,422℃)やカーボン(昇華点3,642℃)は酸素との反応において扱いにくく、酸素プラズマには使用できない。

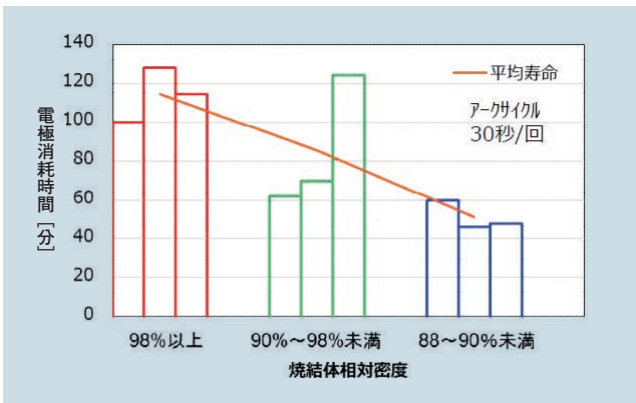
そこで、1994年に故Pfender博士(元ミネソタ大学教授)より、酸素プラズマ用電極放電部材料として提言のあった新材料「炭化ハフニウム」の適用を検討した(第1表)。炭化ハフニウムは通常粉体のため、放電部に使用する際には焼結して固形化する必要がある。他の研究機関で実施した例では焼結密度が80%(相対密度)と低かつ

第1表 材料特性

	ハフニウム	タングステン	カーボン	炭化ハフニウム
融点または昇華点(℃)	2,233	3,422	3,642 (昇華点)	3,887
備考	従来の電極材量	酸化物の融点が1,473℃と低い	酸化して昇華し損耗しやすい	高融点であり、酸化しても融点が2,758℃と高い



第2図 炭化ハフニウム焼結体製造と電極加工



第3図 焼結体相対密度と電極平均寿命の関係

たため、プラズマ切断用電極としては消耗が激しく実用化されなかった。本研究では、難焼結材料の焼結が可能なパルス通電加圧焼結法 (Spark Plasma Sintering, SPS法) を用いることで焼結密度98%以上の高密度な炭化ハフニウム焼結体を製作することができた。実際に酸素プラズマ切断用電極に加工し「炭化ハフニウム電極」(第2図) としたところ、焼結密度の向上に伴い、電極寿命も向上することが確認された(第3図)。(特許出願済)

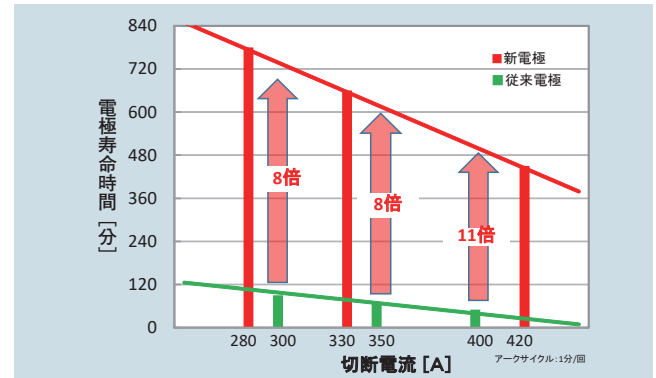
しかし炭化ハフニウムはセラミックスなので靱性が小さく、熱衝撃で割れが生じることがあるため、電極寿命が数10分~300分以上とバラツキがあるという課題が残っていた。そのため、割れの機構解明と原因究明を行い、以下の対策を施した新製法を開発して割れを抑制することで、炭化ハフニウム電極の更なる長寿命化を実現した。(特許出願済)

- (a) 割れの原因となる因子の解明
- (b) 不純物を除去し、炭化ハフニウム粉末の純度向上
- (c) 焼結条件の適正化により焼結体の密度を更に改善 (相対密度99%以上)

2.2 電極に関する制御の改善

電極材料は、プラズマアークを点弧中に融点以上の高温に達しており、蒸発等により消耗してしまう。そこで、電極内側を流れる冷却水の経路設計を見直し、冷却水の流速を高めることで冷却性能向上を実現し、熔融電極の蒸発量を抑制して電極寿命を改善した。

また、電流印加の仕方にも工夫を凝らし、適正な制御を行うことで更に電極寿命を改善した。



第4図 電極寿命の比較 (■新電極、■従来電極)

3 開発品の効果

本開発品の特長である長寿命化について効果を検証した。電流制御を炭化ハフニウム電極(新電極)に適した条件に改良したことで、炭化ハフニウム電極寿命のさらなる長寿命化を実現した(第4図)。代表例として420A切断における電極寿命を従来電極(ハフニウム電極)と比較すると、以下のとおりとなる。

- ①従来電極：40分
- ②新電極：450分(従来比11倍)(電極に関する制御改善の効果含む)

炭化ハフニウム電極の採用により、実際の酸素プラズマ切断で使用する電流領域全体(250A~450A程度)において従来比8倍以上の改善効果を得ることができている。また、酸素プラズマ切断を行っている造船会社でのフィールド試験も実施した結果、ラボ実験と同等の長寿命化を確認でき、製造現場でも本開発電極の長寿命について高い評価をいただいた。

4 今後の展開

開発した炭化ハフニウム電極は2019年10月より共同開発先の日酸TANAKA株式会社から市販された(第5図)。

今回の炭化ハフニウム電極の長寿命化技術によって、酸素プラズマ切断における電極交換作業の頻度は1/8程度に低減された。これにより長時間の連続運転が可能となり、生産現場において課題となっている生産コストの低減に大きく寄与することが可能である。高生産性および生産現場でのCO₂排出削減に寄与できる製品として生産現場へソリューション展開していきたい。



第5図 開発した炭化ハフニウム電極



執筆者/竹内章浩



執筆者/田中和士



執筆者/橋本英明