

B 227 FEM によるプラズマ切断時の電極割れに関する力学的検討

松本直博 (指導教員: 正岡, 柴原)

1. 緒言

プラズマ切断とは、トーチ内部の電極と切断対象物との間にアーク放電を行い、その熱を利用し切断する方式である。またガス切断に比べ、高速かつ歪の少ない切断が可能であり、1mm から30mm 程度の板厚の鋼板を切断する際に良く用いられる方法である。現在、プラズマ切断装置の電極部には高融点材料であるハフニウム(Hf)がよく用いられるが、消耗の点で問題となっている。それに代わる新たな電極材料としてハフニウムカーバイド(HfC)について検討を進めているが割れの発生などあり、問題となっている。

そこで、本研究では電極形状や寸法及び冷却部形状等がHfC電極の割れに及ぼす影響についてFEM熱弾塑性解析¹⁾を用いて検討を行った。

2. 解析モデル

2.1 プラズマトーチ電極形状

Fig.1 にプラズマ切断装置のトーチ内部の電極形状を示す。解析部は図中の赤線で囲まれた部分であり、HfC 電極部、Cu シース部、水冷部で構成される。この電極部分にはプラズマ切断時において、割れが発生する可能性がある。そこで本研究では、時々刻々と変化する温度場と応力場を忠実に再現するFEM熱弾塑性解析を用いて検討した。

2.2 解析対象領域の寸法及び解析条件

解析対象領域の寸法およびその3次元形状を

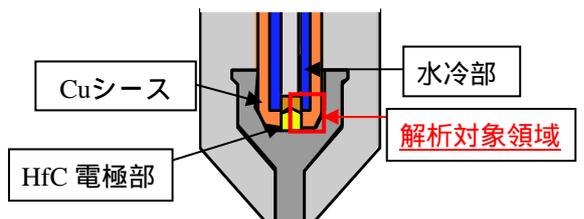
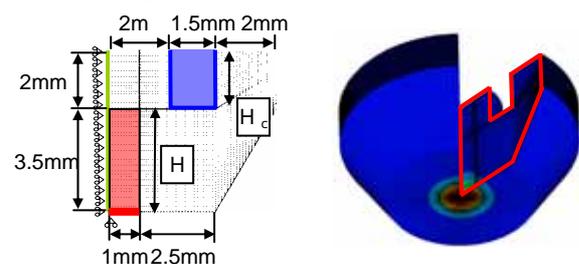


Fig.1 プラズマトーチ電極形状



(a)解析対象領域の寸法 (b)解析対象領域の3次元形状

Fig.2 解析モデル

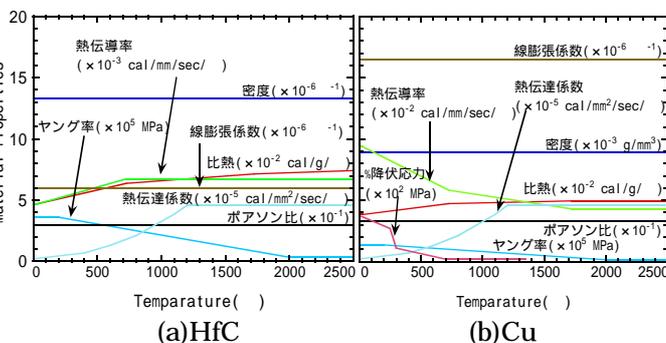


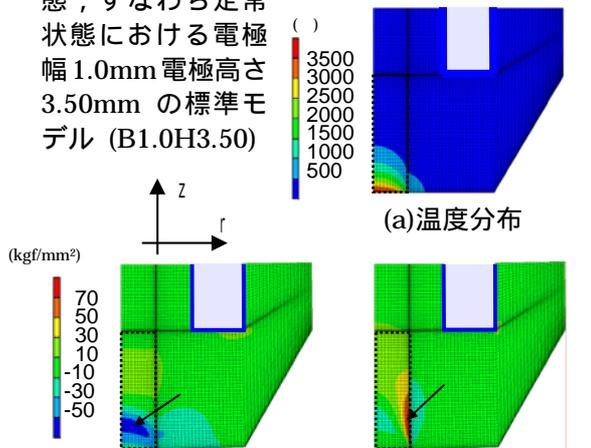
Fig.3 材料定数の温度依存性

Fig.2(a)(b)に示す。プラズマトーチ電極が軸対称形状をしているので Fig.2(a)に示される解析対象領域の左端を対称軸とする軸対称モデルとした。また解析で用いた拘束条件は同図に示す通りである。解析対象領域はHfC電極部、Cuシース部及び水冷部を模擬したものである。また水冷部の影響については熱伝達係数を大きくすることにより考慮した。入熱はアークからの熱伝導や放射熱を想定した表面発熱を Fig.2(a)の赤線部に与え、HfC電極部及びCuシース部で発生するジュール発熱を要素内部発熱として与えた。また電極部とシース部に用いられるHfC、Cuの材料定数の温度依存性を Fig.3 に示す。

3. 解析結果

3.1. 基本形状における応力分布

Fig.4 には入熱と熱の拡散、伝達がつりあう状態、すなわち定常状態における電極幅1.0mm電極高さ3.5mmの標準モデル(B1.0H3.5)



(b)半径方向の応力分布 (c)軸方向の応力分布

Fig.4 標準モデル(B1.0H3.5)の定常状態における温度及び応力分布

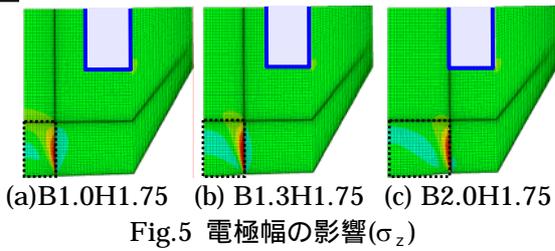


Fig.5 電極幅の影響(σ_z)

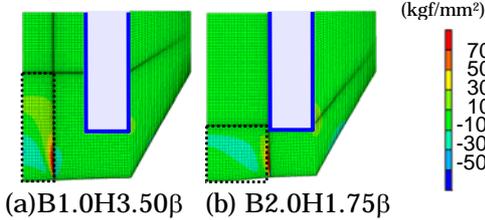


Fig.6 冷却部の深さの影響(σ_z)

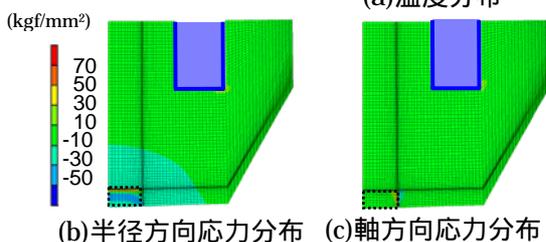
の温度分布、半径方向応力 σ_r 、軸方向応力 σ_z の分布を示す。Fig.4(a)の温度分布から、水冷効果及びCuシースによる冷却効果によりCu部分の温度がHfC電極部に比べ低くなっていることがわかる。また、最高温度部は電極最下部中央で3970となっている。次に半径方向応力に関しては、Fig.4(b)に示すように熱膨張に伴う大きな圧縮応力が現れている。さらに軸方向応力に関してはFig.4(c)に示すようにCu-HfC界面のHfC側に高応力部が存在し、これはCuとHfCの線膨張係数の差に起因するものであり、その値は100.3kgf/mm²となっている。このように非現実的に高い応力になる理由としてはHfCという特殊金属の高温部における降伏応力の温度依存性が不明なため、今回の解析では弾性材料と仮定して解析を実施したためである。また、これらの図より割れはFig.4(c)の高応力部に発生し、高応力成分である軸方向と垂直な方向すなわち横方向に進展すると考えられる。

以上の結果より、標準状態においては大きな軸方向の応力が発生することが確認されたため、次節ではこの応力成分のみについて検討する。

3.2 電極形状の違いによる影響

3.2.1 電極幅の影響

Fig.5には電極幅の違う3つのモデルの軸方向応力分布を示す。B1.0H1.75モデルに対し、電極幅を1.3倍にしたB1.3H1.75モデルでは軸方向最大応



(b)半径方向応力分布 (c)軸方向応力分布

Fig.7 B1.0H0.50の温度・応力分布

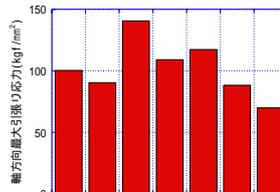


Fig.8 各モデルの軸方向最大引張り応力 σ_z

力が50.2 kgf/mm²増加し、B1.0 H1.75モデルに対し、電極幅を2倍にしたB2.0 H1.75モデルでは18.6 kgf/mm²増加している。これより電極幅が一番小さい時、定常状態における軸方向最大引張り応力 σ_z が小さくなった。

3.2.2 水冷部深さの影響

Fig.6(a)(b)には標準モデル及びB2.0H1.75モデルに対し水冷部深さを2倍にしたモデルの定常状態における軸方向応力分布を示す。これらの結果よりB1.0H3.50βモデルは標準モデルに比べ σ_z が17.3kgf/mm²大きくなっていることが分かった。これは水冷部の溝の深さを大きくしたことによるCuシース部の剛性の低下が主たる要因であると考えられる。また、B2.0H1.75βモデルではB2.0H1.75モデルに比べ、応力が20.7kgf/mm²減少したが、これは最高到達温度の低下による熱ひずみ量の減少が原因だと考えられ、電極設計の指針を与えるものである。

3.2.3 電極高さの影響

定常状態におけるB1.0H0.50モデルの温度分布と半径・軸方向の応力分布をFig.7に示す。この図とFig.4を比較すると、B1.0H0.50モデルの最高到達温度は2899と低く、それにより、横割れの原因と考えられる軸方向引張り応力が31.1kgf/mm²減少している。B1.0H0.50モデルにおいて軸方向引張り応力が最も減少するのは、熱伝導の大きい電極の高さが小さいことにより熱の拡散が起こるからであると考えられる。また各モデルの定常状態における最大応力について整理した図がFig.8である。この図から電極高さが小さいB1.0H0.50モデルの場合に標準モデルに比べ軸方向応力が30%程度低減できることが確認できる。

4. 結言

本研究では電極形状や寸法及び冷却部形状等がプラズマ切断時のHfC電極割れに及ぼす影響についてFEM熱弾塑性解析を用いて検討を行った。これらより以下の結果が得られた。

- 1)電極高さが小さいほど軸方向最大引張り応力を減少させることができ、電極の横割れ防止に適した方法であると考えられる。
- 2)水冷部を深くしたことによる軸方向最大引張り応力の低下は、電極幅の大きな場合に顕著であることが分かった。

5. 参考文献

- 1) 上田幸雄, 中長啓治, 金裕哲, 村川英一: 溶接残留応力の解析と測定の方法力学, 溶接学会誌第55巻, 第6号, (1986) pp.336-348