

チタン部品の深穴加工

工作部門 機械加工技術班

浅田竜也

1. はじめに

ものづくりプラザは、広島大学の共用施設であり教育支援(学生実習など)や研究支援(研究機器の設計・製作)を行っている施設である。

筆者はその中にある機械加工室に所属しており、主に金属部品の加工にあたっている。今回の発表ではその中で、特徴的かつ加工難度の高かった依頼での加工の苦勞について説明する。

依頼の概要は以下のようなものである。

「近年、携帯電子機器の小型化に伴う電力不足が問題となっている。これは、従来のバッテリーのエネルギー密度が低いことに起因した問題である。そこで、従来のバッテリーのエネルギー密度が高い炭化水素燃料を用いた小型燃焼器が注目されており、様々な研究や開発が行われてきた。」

このような研究に際し、最善の結果がでるよう様々な材質で部品を作り、繰り返し実験を行っている。現在、最終的にチタン材が選定されており、この加工での深穴加工について説明する。

2. 依頼製作部品

今回依頼された小型燃焼器の完成品を図1に示す。大きさは、縦70mm・横52mm・厚さ18mmであり、ジュラルミンで製作したケース部分とその中に設置する伝熱部となる燃焼筒で構成されている。実験ではこの燃焼筒の材質を変化させている。これまでの依頼の際にジュラルミン・銅・ステンレスの3材種で製作している。

燃焼筒の全体図は図2に示す。燃焼筒は肉厚2mm内径8mmのパイプ状になっておりこの中を火炎が通る。実験中にパイプ部の壁温を測定するために熱電対を取り付ける穴が必要である。温度分布も見られるように4か所に直径1mmの穴をそれぞれ10・20・35・48mmの深さまであけている。

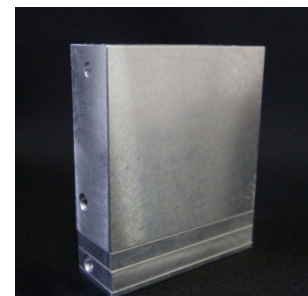


図1. 小型燃焼器

燃焼筒の材質を変更する理由のひとつとして材料ごとの熱伝導率と熱容量の違いがある。参考としてジュラルミン・銅・ステンレスの熱伝導率と熱容量の表を図3に示す。学生から報告された実験結果であるジュラルミン・銅・ステンレス製の燃焼筒を使った実験から、燃焼筒の熱伝導率が小さいほど軸方向の温度勾配は大きくなり、火炎温度は上昇し火炎の安定化につながる事がわかってきた。そのため、今回報告する依頼においてはステンレスより熱伝導率が低いチタンを使用して燃焼筒を製作する事になった。

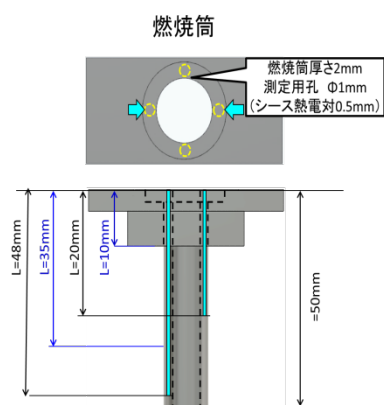


図2. 燃焼筒全体図

燃焼筒	
ジュラルミン	銅
	
k: 熱伝導率 [W/m·K] 177	C: 熱容量 [kJ/m ³ ·K] 2424
398	3442
ステンレス	
	
15	3768

図3. 熱伝導率と熱容量

3. チタンとは

今回製作するにあたり、チタンとはどのような材質なのか調べる事とした。チタンは「強度」「軽さ」「耐食性」「耐熱性」を備えており、航空機や宇宙航空機産業・原子力発電などの分野で利用されていて、近年では製造コストが低減化されいろいろな分野で使われる材料である。チタンの特性として上にあげた4つが挙げられ、強度としてはアルミニウムと比較した場合、約2倍の強度を誇っている。軽さでは銅と比較した場合、約半分と非常に軽い。耐食性は、プラチナと同等以上の耐食性があり錆びにくい。耐熱性では、ステンレスの溶融点(約1400度)よりチタン(約1650度)と高く耐熱性が良い。

4. チタン加工の問題点

チタンは耐熱性や高強度など優れた材料特性を持っているため、切削時では工具寿命が短くなるなどチタンは難削材に分類される。チタンは、熱伝導率が小さいため切削時に発生した熱が逃げない。また工具刃先に加わる切削抵抗の変動が大きく、刃先が欠けたり切削工具が摩耗しやすい。摩耗した切削工具や薄い切りくずが出る条件で切削した場合、熱により切りくずが発火する事がある。今回は薄物の加工は行わなかったが、薄物を加工する場合加工材が大きく変形し加工精度の低下やびびりが生じやすい。

5. チタン加工の対策

上記にあげたチタン加工の問題点を対応するには、主に以下の4つが挙げられる。

- ・適正な刃物工具の選択
- ・適正な工作機械の選択
- ・切削油剤による冷却
- ・低速切削

適正な刃物工具の選択では、チタンの持つ強度や熱伝導の問題により、一般に使われる工具鋼ドリルを使用すると工具の寿命が短く、加工効率も下がるため超鋼ドリルを採用した。これは工具の摩耗を少なくし加工効率を上げ、結果的に加工コストを低く抑えるためである。

工作機械の選択は、今回マシニングセンタと細穴放電加工機の2台を使用した。マシニングセンタ(図4)とは、複数の刃物を自動で交換できる装置を持ち、コンピュータ数値制御(NC)の指令によって自動的に加工を行う。この機械で燃焼筒の測定用の穴をあけるのだが購入した超鋼ドリルの刃長が23mmの物を購入したため、35mmと48mmの穴は細穴放電加工機を使用し穴をあけた。細穴放電加工機(図5)とは、穴径にあわせた細長いパイプ電極を使い電極棒から放電し材料を溶融・除去しながら加工を行う。切削ドリルでは出来ない範囲の小径・深穴を加工できる。

次に切削油剤による冷却である。切削油剤については、水溶性切削油剤を使用した。今回のような加工穴が深い場合、切削熱がドリル先端に蓄積し加工が継続できなくなる。そのためドリル先端から切削油を供給するオイルホール付き超鋼ドリル(図6)を使用した。

適切な切削油剤の使用は、潤滑効果による切削低減にも有効である



図4. マシニングセンタ



図5. 細穴放電加工機

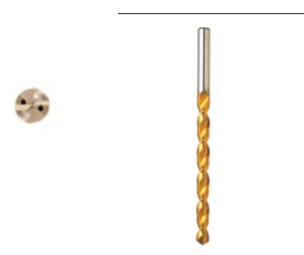


図6. オイルホール付き超鋼ドリル

低速切削では、低速(50~80m/min)で切削を行う事で切削温度の上昇を回避しドリルの摩耗を防ぐことができる。

6. 加工

初めに、マシニングセンタによる穴あけ加工を行う。今回 NC プログラム(図 7)を使用し自動運転で加工を行った。まず、作業画面でドリルの径と回転数、切削送り、切削速度、切削深さなどを入力した。ドリルの回転数は、径が 1mm なので 1 分間に 4000 回転とし、切削送りを 1 分間に 50mm の速とした。加工をする前に作業画面で画像によるシミュレーション(図 8)を行い正しく加工ができるか、間違いがないかを確認した。

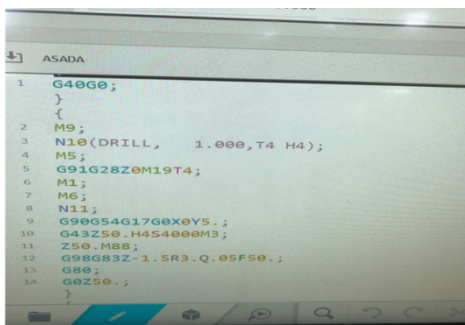


図 7. NC プログラム

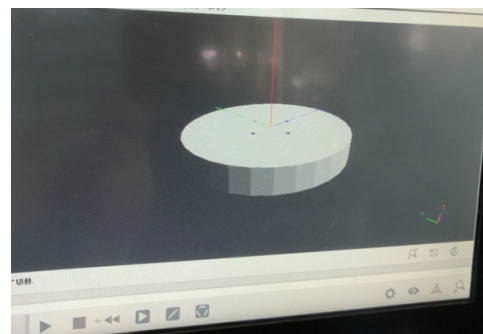


図 8. シミュレーション

加工法は、ステップフィード加工法を採用した。ステップフィード加工法とは小刻みにステップしながら穴をあける工法で、切りくずが詰まる事を避ける事ができる。今回の加工では 1 ステップを 0.05mm に設定した。

1mm の超鋼ドリルであける前に、スターティングドリルで深さ 1.5mm まであける。スターティングドリルとは正確な位置決めができるドリルで、細穴加工や深穴加工に有効である。スターティングドリルであけた後、1mm の超鋼ドリルに交換し水溶性切削油をかけながら深さ 20mm まであけた。加工に要する時間は1つの穴に対して約 15 分程度であった。



図 9. マシニングセンタによる加工

次に細穴放電加工機を使い残りの 35mm と 48mm の穴に対して 20mm 以降の追加工を行った。真鍮の電極棒を放電しながらあけるのだが、エラーがでて停止するので苦労した。エラーがでるのは、穴が深くなるにつれて電極棒がしなっていき穴壁面に電極棒が接触しているか、電極棒は放電しながら溶けていくので溶けたカスが最深部にあるからだと思われる。そこで、エラーで停止した場合は電極棒を停止した場所から 1mm 程度上げて再度スタートさせた。今回は、何回か停止したが 2 箇所ともあけることができた。



図 10. 細穴放電加工機による加工

7. おわりに

一般的に“穴あけ加工はドリルを用いる”事が基本であり、以前に依頼されていた材種での加工ではドリル単体で深穴加工を実施していた。ドリルでの深穴加工では、ドリルのリード(溝)から切りくずが適切に排出される・ドリルの刃の切れ味が保たれている・ドリルがしなったりせず確実に真っ直ぐに入っていくなどといった点が成功の可否を決めるが、チタンにおいては工具先端に熱が溜まり(切りくずが熱を逃がしてくれない)、切りくずの排出を阻害する事、さらに材料硬度やドリル先端の摩耗や欠けの発生率が高いため、この方式での加工では所定の形状を実現できない。そこで、今回依頼されたチタン製部品の製作において、難削材への小径深穴加工としてマシニングセンタと細穴放電加工機を使つての加工に挑戦した。

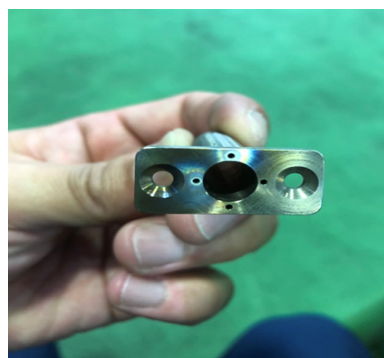


図 11. 完成

使用したマシニングセンタは主軸内を通して切削油を供給できるスルースピンドルタイプであり、1 年ほど前にもものづくりプラザに配置された。そのため、オイルホール付きドリルを使用し、効率的な加工が可能であり、ステップフィード加工と合わせる事により、切りくずの排出性の向上およびドリルへの熱影響を低減できた事もあり加工時間の短縮にも繋がった。ただし、それを踏まえてもチタンでの $\phi 1\text{mm}$ の穴あけでは 20mm 以上の深さでの加工は困難なため、さらに深い部分では細穴放電加工機での追加工で対応した。

細穴放電加工機は、穴あけ中にアーク放電により加工したい材料とともに加工用の電極棒が溶けるため正確な穴あけ深さを得るためには、加工→測定→加工→……の繰り返しが必要である。今回はミスをしないうえ、比較的加工時間が増えても測定を確実にを行うことを重視したことにより、寸法通りに製作することができた。

今回の依頼では、あまり経験のなかったチタンへの深穴加工を行ったため、加工方法の検討・刃物の選定や加工条件出しなど時間が多くかかった部分があった。今回の経験を自分自身だけでなく、チームとしての技術向上にもつなげるため、班員との内容の共有など、機械加工技術班全体の経験として蓄積し、今以上に様々な支援を行っていきたいと感じた。

謝辞

今回の発表に際し、実験の結果を提供して下さった大学院工学研究科燃焼工学の下栗大右先生、北脇賢志様に深く感謝致します。

参考 Web サイト(URL)

チタン加工.COM チタン加工の技術情報専門サイト

<http://titanium-kakou.com/index.html>