

極低温電気特性測定装置部品（ステンレス、純銅）の製作

○野田匠利^{#A)}、佐藤清美^{A)}、高宮健吾^{A)}、明連広昭^{B)}

^{A)}埼玉大学 研究機構 総合技術支援センター

^{B)}埼玉大学大学院 理工学研究科

概要

本学工学部実習工場では、学内の各研究室（工学部機械工学・システムデザイン学科以外も含む）等からの実験装置及びその部品・要素についての金属の切削加工を中心とした試作依頼の業務を行っている。本試作における部品の材質はステンレスおよび純銅であり、産業界で多用されている鉄鋼やアルミニウム等と比較するといずれもいわゆる難削材に分類される材料で、うまく加工するための条件が比較的シビアであり、熟練を要するものである。本発表では、本年度試作依頼のあった極低温電気特性測定装置部品に関する試作の工程について、失敗談やそこからのリカバリーなどの本学工場の持つ加工ノウハウについての話題を中心に報告する。

1. はじめに

本学工学部実習工場[1]では、実習工場および工学部機械工学・システムデザイン学科に所属する技術職員を中心とした実習工場試作業プロジェクト[2]が、金属の切削加工を主とした学内の各研究室における実験装置やその部品の試作業務に取り組んでいる。被削材は産業界でも多用される鉄鋼やアルミニウムが多いが、高硬度鋼などとは異なる、粘りの性質が強いという意味で工具の折損などに繋がりがやすいという観点から難削材に分類されるステンレスや純銅の試作依頼のニーズも一定割合存在している。これらステンレスと純銅は、切削加工にあたり一定程度の経験が必要な材料であり、かつ産業界での量産のニーズが鉄鋼やアルミニウムほどではないこと、研究開発現場における加工対象としての被削材として扱われることも少ないことから、加工のノウハウが集積していない、誰でも参照可能な形ではほとんど表に出て来ていないのが現状である。本発表では、今年度学内より試作依頼のあった極低温電気特性測定装置部品の製作過程について、本学実習工場が有する加工ノウハウや失敗からのリカバリーを交えて報告する。

2. 製作物について

本試作依頼の製作物（抜粋）を図1~5に示す。



図1. chamber_bottom (ステンレス鋼 SUS304)

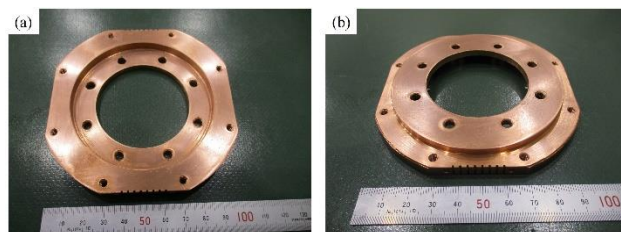


図2. flange_50K (純銅 C1020) (a)表面、(b)裏面



図3. thermal_anchor_plate_086 (純銅 C1020)



図4. cold_plate4dsub (純銅 C1020)

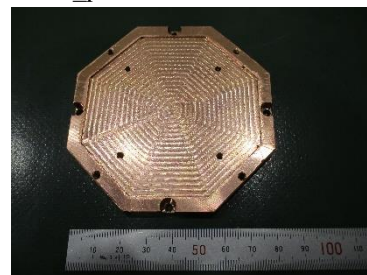


図5. cold_plate_42 (純銅 C1020)

3. 工程

いくつかの部品の工程について以下に抜粋して紹介する。

3.1 Chamber_bottom



図 6. chamber_bottom 旋盤加工



図 7. chamber_bottom フライス盤加工

最終的に出来上がる形状において通常のチャックの爪では掴み代が小さく不安定な恐れがあることから、生爪を成形して加工を行った（図 6）。本工場では、ステンレス鋼材加工の際に切削油を塗布するのではなくエア（エアブラスト）を吹き付けて行う場合がある。これは、ステンレス材は熱による硬化の程度や熱歪みが大きく、その防止には冷却が必要であるが、その際にエアの方が切削油よりも冷却効果が高いとされるためである。このエアを吹き付ける手法は、例えば超硬合金のような耐熱性のある刃先による高能率高速加工のような、切り屑などが加工熱によって軟化することを前提とした加工においては逆効果になり得る可能性が考えられるので注意が必要である。今回こちらの Chamber_bottom についてはエアを吹き付けての加工は行わなかった（図 7）。切削速度は、本実習工場が推奨している切削条件（図 8）である 18～27 m/min の範囲内で適宜調整して加工を行った。

(a)

○回転数の計算式

旋盤又はフライス盤において切削加工を行う場合、刃物材料が高速工具鋼（ハイス）であるとき、

v : 切削速度[m/min]
 D : 回転軸(主軸)を中心とした切削面の直径[mm]

とすると、主軸の回転数 n [rpm]は、

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

となる。なお、各種切削材料に対する切削速度 v [m/min]の標準値は下表のとおり。

各種切削材料に対する切削速度 v [m/min]の標準値

材料	
一般構造用圧延鋼 (SS400)	36～48
機械構造用炭素鋼 (S45C)	27～36
ステンレス鋼 (SUS304)	18～27
ねずみ鋳鉄品 (FC200)	21～30
快削鉛入黄銅 (真鍮)	75～84
銅及び青銅	120～150
アルミニウム	60～69
アクリル	21～30
アクリルを除くプラスチック	84～90

※本表の値は、切込み深さ0.38～2.4[mm]、送り量0.13～2.4[m/rev]とする場合を想定している。

※刃物材料が超硬合金の場合は、切削速度を2倍とする。

※突切りバイトを用いるときは、切削速度を1/2とする。

(b)

○送り速度の計算式

フライス盤において切削加工を行う場合、刃物材料が高速工具鋼（ハイス）であるとき、

S : 送り速度(フライス盤の左右送り)[mm/min]
 f : 1刃当たりの送り量[mm/枚]
 Z : カッタの刃数[枚]
 n : 回転数[rpm]

とすると、送り速度 S [mm/min]は、

$$S = fZn$$

となる。なお、各種切削材料に対するフライス盤の一刃当たりの送り量 f [mm/枚]は下表のとおり。

各種切削材料に対するフライス盤の一刃当たりの送り量 f [mm/枚]

材料	加工法	
	正面削り	側面削り
一般構造用圧延鋼 (SS400)	0.08	0.16
機械構造用炭素鋼 (S45C)	0.07	0.11
ステンレス鋼 (SUS304)	0.06	0.15
ねずみ鋳鉄品 (FC200)	0.07	0.11
快削鉛入黄銅 (真鍮)	0.07	0.16
銅及び青銅	0.08	0.16
アルミニウム	0.06	0.13
プラスチック	0.06	0.13

図 8. 切削条件一覧表 (a)回転数、(b)送り速度

3.2 flange_50K



図9. flange_50K 旋盤加工

Chamber_bottom 同様、掴み代が小さくなる加工であるため生爪を用いて旋盤加工を行った(図9)。切削速度は図8が示す純銅の推奨速度よりも遅い回転数で行ったが、仕上面にむしれが生じたため、紙やすり用いて研磨・表面仕上げを行った。

本 부품のフライス盤によるねじの下穴加工中にφ2.5のドリルが折損した。これは推奨切削速度よりも遅い回転数(切削速度)で鉄鋼やアルミ材と同様の感覚・工具送り速度で穴を開けようとしたところ、硬い切り屑が繋がってドリルを折ろうとする大きな力が働いたことが原因であると思われる。今回はハイスのドリルであったことから、それよりも硬い超硬合金製のエンドミルでの折損工具除去が可能であったため、一回り小さいφ2.0の超硬合金のエンドミルで折損工具を除去してから本来の下穴を開け直してリカバリーすることが出来たが、折損した工具が超硬合金であった場合は、例えば折損タップ除去などで使われる簡易的な構造の放電加工機(一例としておれとーる(製品名)[3])などを用いなければリカバリーは難しいと考えられる。この失敗を踏まえ、残りの箇所については切削速度を本実習工場が推奨する速度に近づけるべく使用フライス盤(静岡鐵工所 VHR-SD)の主軸最高回転数である 6000 min^{-1} で、穴上面にエアーを吹き付けながら加工を行った。この大きい切削速度による切削条件は、純銅材の場合は、切り屑が繋がらないように分断する効果も兼ねていると考えている。

側面加工での失敗を踏まえ、残りの箇所や端面(平面)への穴加工では切削速度(回転数)を上げて加工する手法を取ったが、当初鉄鋼材やアルミ材などと同様に穴位置にスターティングドリル(もしくはセンタドリル)でスポット(センタ穴)を加工してからめねじの下穴径のドリルで加工しようとしたところ、主軸回転数が非常に速いことが原因と思われる、ドリル先端が表面で暴れる現象が発生し正確な位置や径での穴あけが難しい事態が生じた。そのため、この後の純銅材への穴あけ加工では本来の穴径よりも小さい径のエンドミル(例えば今回の場合 M3 のめねじの下穴径φ2.5よりも小さいφ2.0のエンドミル)でまず先に穴(可能・必要であれば貫通穴)を開けてから本来の下穴径のドリルで開ける手段を取った。

3.3 cold_plate4dsub

貫通を伴うポケット形状を有する部品であったが、切り屑が完全には除去し切らずに表面に毛羽立った状態で残留した。もう一度加工経路に添って空運転しても毛羽立ち・バリは除去されなかった。

3.4 cold_plate_42

正八角形に成形することが必要であるため斜め方向の送りが必要であったり外周近くに外側に工具がはみ出る座ぐり部を有している関係から、別途ジグを作成し、汎用フライス盤で加工可能なねじ穴・座ぐり穴を先に開けた上でマシニングセンタでの加工を行った(図10~12)。

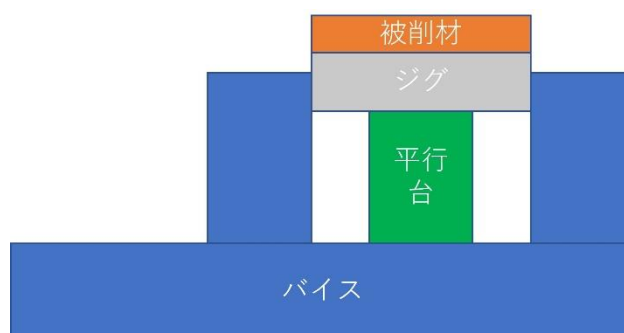


図10. cold_plate42 加工の模式図

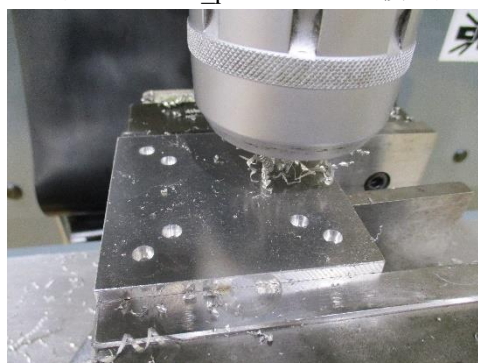


図11. ジグの製作(アルミ)



図12. cold_plate_42 フライス盤加工の様子

マシニングセンタでの加工については、当初はカスタムマクロによる繰り返しの制御文を取り入れたGコードで加工する予定であったが、納期の関係上、

ヤマザキマザックの工作機械に搭載されている対話型プログラミング機能（マザトロール）を用いて加工プログラムを作成した。ポケットや段差、穴あけなどごくありふれた加工の場合は対話型プログラミング機能を用いた加工プログラム作成の方が納期が早く出来る場合が多いが、工具を高度に制御する必要のある加工の場合は、対話型プログラミング機能では不必要な箇所を削ったりしてしまう事態が生じることがあるため、一からGコードで作成するかCAMソフトウェアの使用が必要であると思われる。一回目の加工では加工面に若干毛羽立った箇所が見られたことからもう一度プログラムを空運転したところ、毛羽立ちを除去することが出来た。

4. おわりに

ステンレスや純銅の一点モノの部品の試作は大学等の教育研究機関特有の技術という色彩が強く、単に安易に外部から加工ノウハウを入手して実践するというだけでなく、切削加工の機構を熟知した上で、時には試行錯誤を重ねて研究開発的なアプローチで臨むことが必要であると思われる。また大学等の工作室における加工は相対的に量産するようなものや金型のような複雑形状が少ないという意味ではマシニングセンタのような量産向けのNC工作機械に触れる機会が少なく、工作実習の授業や工作室の運営管理と並行してNC工作機械の操作に熟達することの難しさも実感した。本発表がこのような難削材加工やNC工作機械操作熟練の技術の共有や議論のきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- [1] 埼玉大学工学部実習工場のホームページ
<http://koujou.mech.saitama-u.ac.jp/>
- [2] 実習工場試作業務プロジェクト(埼玉大学研究機構総合技術支援センター) <http://koujou.mech.saitama-u.ac.jp/sisaku/index.html>
- [3] 株式会社 nji | おれとーる 破損工具除去放電加工機 OT-100Z
https://www.nepo.gr.jp/nji/product/001_ko_oretool.html