

テーマ 「多様で柔軟な職業能力開発の推進」

副題 産学官連携による難削材加工における取り組み

所属施設 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構
執筆者 安部 倫啓 (長崎職業能力開発促進センター)
共著者 古城 良祐 (中国職業能力開発大学校)

1. はじめに

平成25年から岡山県では、航空機産業への参入を目指して、岡山県内のものづくり企業の基盤技術の高度化に向けた「おかやま航空機材料等技術研究会」を設立し、事業を展開している。

これまでにこの研究会では、航空機関連部品加工の増大により注目されている、チタン合金および超耐熱合金等の難削材加工技術や材料特性などを取りあげ、「専門家を招いたセミナー」や「中国職業能力開発大学校（以下「能開大」という。）の講師による難削材加工実演」を実施してきた。

ところが難削材の加工を自社で経験したことのない企業も多く見受けられたところから、まずは難削材の加工経験をいち早く積ませることで技術力向上を図り、難削材加工の見積対応ができる人材を育成する。その結果、多くの企業が航空機関連部品の受注を目指すことを可能にする。また、従業員全体のレベルアップにつながるほか、若手技術者の人材育成、県全体の技術力向上・競争力強化につなげる必要がある。

平成27年度においては、機構も岡山県の事業に参画し、「岡山県難削材加工分野人材育成研究会（以下「研究会」という。）を発足させ、人材育成の分野から同事業を支援することとした。まずは能力開発体系を提案し、能力開発セミナーを企画・立案、実施した。セミナーでは、実際に参加企業の機械で難削材加工の難しさ・工具寿命などを体験してもらうこととした。参加企業から収集した切削工具や切り屑、課題製品などは、データを整理・まとめた後に、参加企業や専門家を交えて意見交換を行い、加工条件の比較・検討や情報共有を行うこととした。ちなみに材料費や工具費などは、岡山県産業振興財団が負担するため、参加企業側に費用負担をかけることなく研究会を実施することができた。今回はその取り組み内容について報告をする。

2. 研究会の取り組み

まずは、研究会開催準備に向けて、平成26年11月に専門家を招いた研究会の検討会議を行い、その趣旨を翌年1月に参加企業と意見交換会を実施した。

2-1 専門家を招いた「研究会」の検討（11月）

平成26年11月13日に専門家と岡山県産業労働部産業振興課、岡山県産業振興財団技術支援部ならびに能開大講師、岡山センターの講師を交えて、①概要、②事前準備、③インプット関係、④アウトプット関係、⑤切削油について、⑥予算、⑦スケジュール案などを決めた。

- ① 概要では、参加企業予定数は5社（対象ワーク未経験企業）とし、専門家の知見ならびに平成24年度から実施している難削材加工技術セミナーとの関連性を鑑みて被削材はインコネル718とし、工作機械はNC旋盤、使用工具メーカーは三菱マテリアル社製を使用することにした。
- ② 事前準備では、材料の材質証明書（ミルシート）付のものを購入し、支給する材料が「何に使われているのか」、「どんな特性があるのか」、「支給されるまでの履歴」を明らかにした上で企業に提示することにした。
- ③ インプット関係では、参加企業へ同一ワーク、同一工具、そして加工条件については標準的な切削条件を提示し、各社ごとに加工条件を変えて切削してもらうようにした。
- ④ アウトプット関係では、企業に求める報告事項として加工したワーク、工具、切り屑などを提出してもらう。その後、能開大でデータ整理・まとめたものを準備して、第2回研究会で意見交換や情報の共有化をすることとした。
- ⑤ 切削油については、水溶性の切削油を使用することを条件として提示し、メーカー名や商品名等は特に指定しない。
- ⑥ 予算については、材料費と工具費を岡山県に負担してもらうこととした。
- ⑦ スケジュール案については、表1に示す。

表1 スケジュール案

5月	企業公募
6月	参加企業の所有する工作機械の能力調査 難削材配布の事前準備
7月～8月	難削材、工具の配布、企業での切削
9月～10月	データ整理およびまとめ
11月	検討会議開催
12月～1月	結果を企業へフィードバック
2月～3月	次年度開催内容の検討

2-2 参加企業との意見交換会の実施（1月）

11月にまとめた内容を基に、参加企業2社から意見交換をした。また、本研究会に向けて、5つの項目の意見を頂いたのでその内容を下記に示す。

① 全体についての意見

- ・とても良い取り組みと考える。この事業の大きな意義は、①難削材加工の実体験（見積もり対応が可能になる）と②若手技術者の人脈・ネットワークづくり。
- ・加工したデータは公開すべきと考える。それが県全体の技術力向上につながるし、競争力強化につながる。事前に周知しておけば問題ないと考える。
- ・難削材支給に予算の制約があると思うが、1つの難削材を2社で削るなどの工夫をして、手を挙げた企業は出来るだけ参加させてほしい。
- ・良い取り組みであると考え。難削材を自社切削して課題をクリアすることで、達成感を得ることは自信につながる。また、企業の中で社を挙げて従業員が取り組めば全体のレベルアップにつながる。

② 加工条件や工作機械（NC旋盤かマシニングセンタ）について

- ・単なる切削の課題提供ではなくて、実際の航空機部品やタービンなどに求められる加工精度を盛り込んで提供すべきである。
- ・企業から提出すべき実験結果の中に、工作機械の型式や使用年数なども加えた方がよい。
- ・通常の仕事を考えれば、旋盤加工で終わるものはない。できたら、旋盤加工の後にマシニングや穴空け加工など、色々な課題を入れ込んでほしい。
- ・あまり一度に色々と課題を詰め込むのではなく、3～5年のスパンを見込んで、徐々にレベルアップしていくような仕組み作りしてほしい。まずは達成感が大事である。

③ 今後の人材育成についての意見

- ・実習で実際に見る事ができるのは非常に有益なことである。加工現場を生で見ることを企業は求めている。
- ・企業内で技能の伝承をすることは非常に難しい。知識だけではダメで、どうしても実体験が必要となってくる。
- ・2年に一度ぐらいの頻度で、底上げの意味で基礎的な実習、セミナーを行ってほしい。
- ・今回の対象ワークはインコネルだが、参入したことがない企業にはチタン合金も勉強会の対象となるし、医療分野で言えばコバルト合金もよいと考える。
- ・工作機械メーカーに講座等をお願いするのであれば、例えば「複合加工機でどんな加工が出来るのか」など、自社に次に導入する機械がイメージできるようなものを希望する。

④ 自社加工にかかる期間について

- ・加工時間は4～5時間ぐらいの1日で終わるような課題設定にして、「何月何日にこの企業は加工する」など、予定を決めておく。県や財団、能開大も切削に立ち会えば、いろいろと得るものがあると考え。

⑤ その他

- ・25年前に、ジェットエンジン部品を受注したいと考えて、S企業にお願いしたことがある。結果として受注は出来なかったのだが、その際にインコネルを試し削りしたが、全く削れなかった。
- ・航空機部品の受注については、インコネルが多く使われているジェットエンジン内部の下請けは、I企業の下請け企業にがっちりと囲まれていて、品質保証の問題もあり、非常に難易度が高く困難である。
- ・中央翼とエンジンをつなぐパイロンにもインコネルは使用されており、もし受注が出来るとすればそういった部分だと考える。

以上の意見を鑑み、研究会の内容を2点変更した。一つ目は、当初は参加企業5社を予定だったが、10社に変更することとした。二つ目は、実際の製品を考えるとNC旋盤とマシニングセンタを共に使用した課題製品にしたほうが良いとの意見から変更をした。

3. 第1回研究会（6月）

今回は岡山県産業労働部産業振興課より3名、工業技術センターより1名、岡山県産業振興財団技術支援部より1名、能開大より7名、参加企業10社が能開大に集まり、第1回研究会が実施された。そこで実施要領の提示（表2、図1）ならびに加工ポイント、今後のスケジュールについて示された。

3-1 課題製品の提示

表2 支給材料の大きさ

	素材寸法	個数
S45C（生材）	φ100mm 長さ53mm	2個
インコネル718（HRC47程度）	φ105mm 長さ53mm	2個

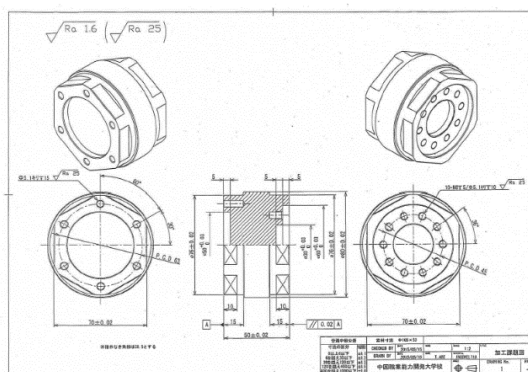


図1 課題図面

課題製品で使用する材料については、インコネル 718 の難削性を体験して頂くために S45C の材料も配布し、比較することとした。

支給工具については、専門家の知見から三菱マテリアル製を使用することとした。ドリル工具については、参加企業のマシニングセンタの仕様に合わせてツールスルータイプと外部ノズルタイプを準備した。

エンドミル工具については、粗加工では 4 枚刃制振ラジアスエンドミル (VQMHVRBD1600R100)、仕上げ加工では 4 枚刃制振エンドミル (VQMHVD1600) を支給する予定だったが、在庫がなかったため表 3 に示すエンドミルを使用することとなった。

表 3 支給工具一覧

メーカー名	加工工程	型 式	個 数
三菱マテリアル	端面・外径粗用バイト	DCLNL2525M12	1 本
三菱マテリアル	端面・外径仕上げ用バイト	DCLNL2525M12	1 本
三菱マテリアル	端面・外径粗用インサート	CNMG120408-RS (MP9015)	1 ケース (10 個)
三菱マテリアル	端面・外径仕上げ用 インサート	CNMG120408-LS (MP9005)	1 ケース (10 個)
三菱マテリアル	ドリル加工用 (φ 5.1) 内部	MVS0510X03S060 (DP1020)	1 本
三菱マテリアル	ドリル加工用 (φ 5.1) 外部	MVE0510X03S060 (DP1020)	2 本
三菱マテリアル	ドリル加工用 (φ 16) 内部	MVS1600X03S160 (DP1020)	1 本
三菱マテリアル	ドリル加工用 (φ 16) 外部	MVE1600X03S160 (DP1020)	1 本
三菱マテリアル	エンドミル粗加工用 (φ 14)	VQMHVD1400	1 本
三菱マテリアル	エンドミル仕上げ加工用 (φ 13)	VQMHVD1300	1 本
三菱マテリアル	面取り加工用 (φ 12)	VC2CD1200	1 本
OSG	タップ加工用 (M6×1)	WHR-NI-SFT M6×1	2 本

3-2 加工に関するポイント

本研究会を開催するにあたり、事前に能開大のNC旋盤とマシニングセンタによる加工をしていたので、旋盤加工においては工具欠損ならびに切り屑の形態などの事例を紹介し、マシニングセンタではエンドミル加工、ドリル加工、タップ加工などのデモ加工を紹介した（図2）。



図2 課題製品

7月上旬には、材料ならびに工具を配布し、参加企業に加工をしてもらうことにした。表4に今後のスケジュールを示す。

表4 おかやま航空機材料等研究会のスケジュール

6月	上旬	第1回検討会議	【参加企業・県・財団・能開大】 ・概要説明、加工課題を提示して企業のニーズを把握、スケジュール確認、加工条件等説明、加工環境確認など	・被削材、工具の発注 ・加工課題手直し（必要があれば） ・加工環境確認（必要があれば）
	中旬			
	下旬			
7月	上旬	各企業にて切削加工	・被削材、工具配布 ・参加企業個別ヒアリング	・被削材、工具配布 ・切削現場に立ち会い
	中旬			
	下旬			
8月	上旬	参加企業からデータ提出	・検討会議準備、日程調整	・データ整理
	中旬			
	下旬			
10月	上旬	第2回検討会議	【参加企業・県・財団・能開大・専門家】 ・専門家を交えた結果検討、今後の取り組み等	
	中旬			
	下旬			
11月	上旬	加工検討会議データ集作成・配布		
	中旬			
	下旬			

4. 被削材別によるエンドミル加工における切削抵抗と動的成分（10月）

被削材別にエンドミルによる加工方法（アップカットとダウンカット）が切削抵抗にどのくらい違いがあるのかを理解してもらうために、参加企業を対象に加工実験を実施した。あわせて難削材加工で問題視される動的成分なども数値データ化し、整理することで、今後の難削材加工の解決策のツールになればと思い取り組んだので以下にその概要及び実験内容を示す。

4-1 切削抵抗と3分力

切削抵抗は、切削する際に被削材が刃物を押し戻そうとする力の大きさを表す。力のかかる方向によって、主分力 (F_x)・送り分力 (F_y)・背分力 (F_z) 3つに分けられ、これらの合力を切削抵抗という (図3・図4)。

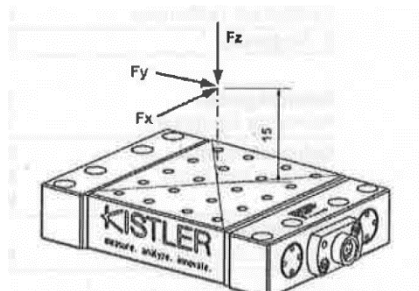


図3 水晶圧電式3成分動力計
(KISTLER 社製)

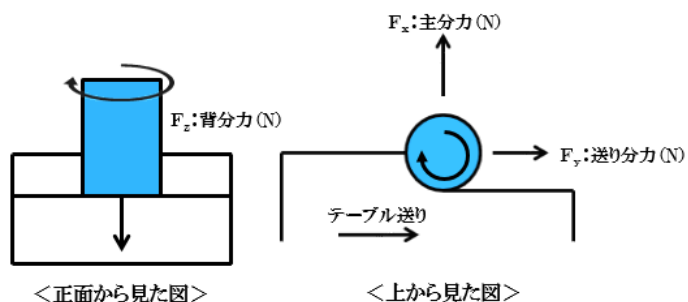


図4 3分力成分

4-2 動的成分

動的成分とは、切削抵抗の変動（振幅の大きさ）を表す。切削加工中におけるビビリ現象や加工の安定性などをグラフから見る事が可能である (図5)。

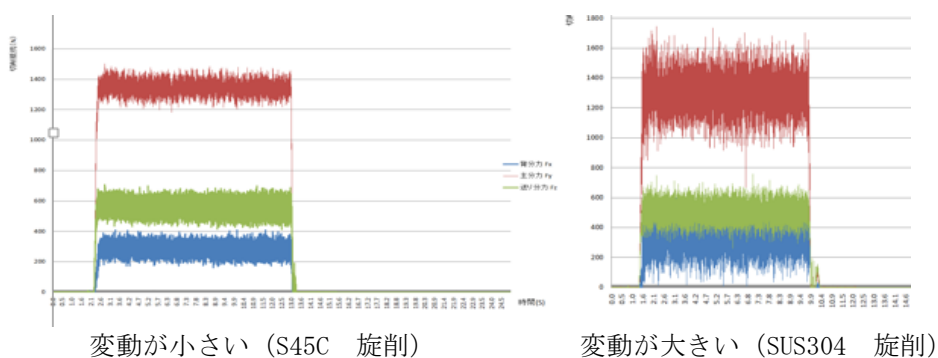


図5 動的成分

4-3 実験内容

被削材はS45C、SUS304、インコネル718の3種類の被削材を用いてアップカットならびにダウンカットの切削抵抗をデータ収集し、比較した (写真1)。

切削動力計は、水晶圧電式3成分動力計 (KISTLER社製) を用いた。使用工具ならびに加工条件については、表5、表6に示す。

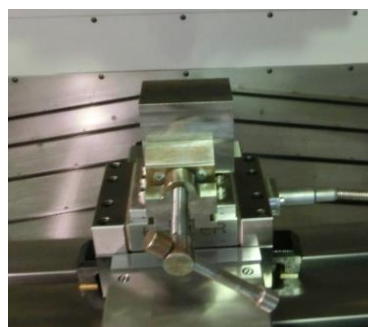


写真1 製品の取り付け

表5 使用工具

S45C	ミスミ TSC-PEM4S10(超硬コーティング) 4枚刃
SUS304	NACHI GSXVL41000T-2.5D (不等分割・不等リード) (超硬コーティング) 4枚刃
インコネル718	三菱マテリアル MSMHDD1000(超硬コーティング) 4枚刃

表6 被削材別による切削条件

	切削速度Vc (m/min)	送りf (mm/刃)	ap (mm)	ae (mm)
S45C	80	0.1	10	0.5
SUS304	100	0.06	10	0.5
インコネル718 (HRC47程度)	40	0.038	10	0.5

被削材別による加工データを比較したので図6に示す。切削抵抗については、被削材に関わらず主分力が最も大きく、続いて背分力、送り分力という結果となった。動的成分については、切削加工中の振幅を示すものでインコネル718が最も大きかった。今回、SUS304については、制振エンドミルを利用していたため、S45Cの動的成分とそれほど差がないことがわかる。切削抵抗についてもインコネル718が最も大きかった。加工方法については、被削材を問わずアップカットに比べてダウンカットの方が大きいことがわかる。

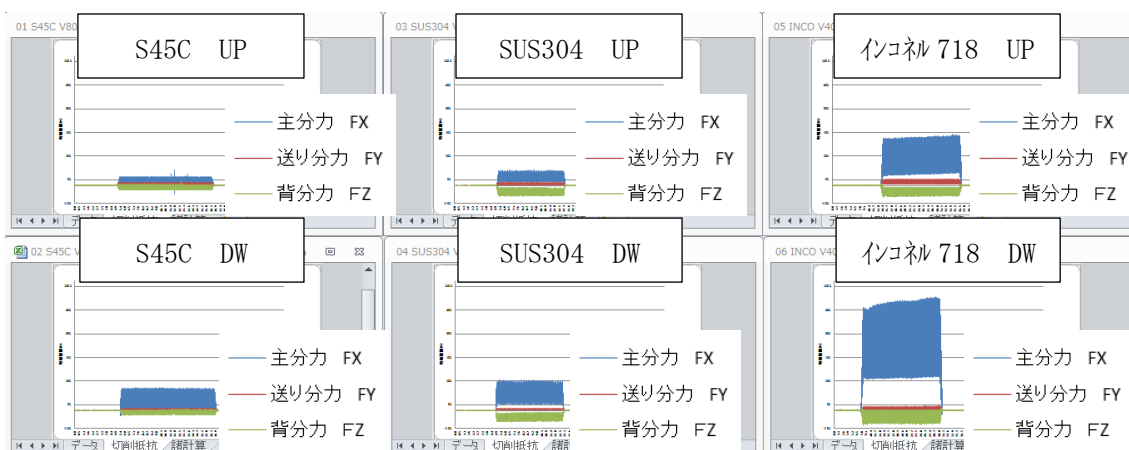


図6 被削材別による切削抵抗

以上の結果から、インコネル718の加工では動的成分が大きくなるため、制振エンドミルの選定や工具取り付け時に、突出し長さを最小限にすることなどを心掛ける必要があると考える。また、切削抵抗は、アップカットの方が少ないため工具のたおれの影響が小さいと考える。ただし、工具の寿命においてはダウンカットのほうが有利とされているため、どちらの加工方法にするかは目的に応じて判断する必要もある。

5. 参加企業の加工データの集計・整理およびまとめ（10月～11月）

10月の中旬にはすべての参加企業が、S45C（2個）ならびにインコネル718（2個）の加工をすることができた。提出して頂いた課題製品（S45C・インコネル718）、工具、切屑ならびに加工データ表を基に測定データを作成し、加工データの整理を進めた。

また、加工データの整理では、加工工程ごとにに応じて工具摩耗写真ならびに切屑の写真なども付けた（図7・図8・図9）。

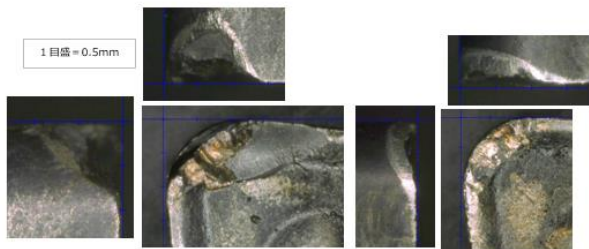
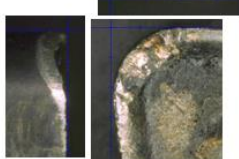

第1工程	加工時間 (H)	主軸回転数 (min ⁻¹)	切削速度 (m/min)	フィード送り速度 (mm/min)	送り (mm/rev) (mm/刃)	切込み量ap (mm)	切込み量ae (mm)	コメント
外径 あら 切削		184	-		0.20	1.0-1.5		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  <p>1目盛=0.5mm</p> <p>H0インサート (ケース右下 1mm)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>H0インサート (ケース右下 2mm)</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>								

図7 インコネル718加工データ（旋盤粗加工）

No	測定箇所	名称	公差名	設計値	下限公差	上限公差	測定値	誤差
1	A	φ50部	直径	50.0000	0.0000	0.0300	49.9914	-0.0086
			位置 X	0.0000	-0.1000	0.1000	-0.0093	-0.0093
			位置 Y	0.0000	-0.1000	0.1000	0.0003	0.0003
2	B	φ76部	直径	76.0000	-0.0200	0.0200	75.9947	-0.0053
			位置 X	0.0000	-0.1000	0.1000	0.0125	0.0125
			位置 Y	0.0000	-0.1000	0.1000	0.0076	0.0076
3	C-1	L70±0.02部	距離 XY	70.0000	-0.0200	0.0200	70.0076	0.0076

図8 CNC三次元測定機による測定データ

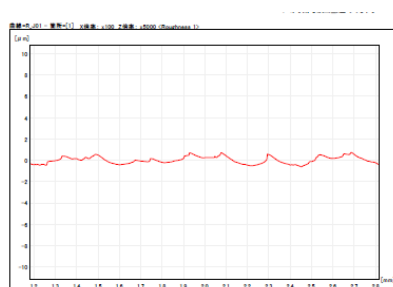


図9 表面性状（六角部側面）

6. 第2回研究会による意見交換（11月）

6-1 旋削粗加工

メーカー推奨切削条件は、 V_c40 (m/min)、 $F0.2$ (mm/rev)、 $ap2.0$ である。加工した結果、大半の企業で「切り屑がつながり巻付く」、「チッピングならびに工具欠損」、「工具溶着」、「2工程目の抜け際で大きな加工音がした」などコメントが挙げられている。

インコネル718は熱伝導率が低く、加工硬化性も高く、切屑がつながり易い被削材である。切屑を細かく排出するために切込みもしくは送りを大きく設定して加工したが、工具欠損につながっている。よって、ブレーカ形状ならびに加工条件（切削速度・切込み・送り）の調整、高圧クーラントの使用などにより改善が求められる。

また工具欠損については、加工硬化層の影響によりノッチ摩耗（境界摩耗）が生じ欠損につながったのではないかと考える。工具横切れ刃角を大きくする、加工条件の変更、ノーズRを大きくするなどの対策が求められる（写真2・写真3）。



写真2 加工条件
(V_c60 、 $f0.1$ 、 $Ap3.2$)

ノッチ摩耗
写真3 加工条件
(V_c35 、 $f0.3$ 、 $Ap2.0$)

工具摩耗については、熱の影響によるものであると考える。切削熱を抑制する方法をとる必要があるのではないかと考える。

工具溶着などでは、クーラントの種類を難削材用に変更して試してみることも必要であると感じた。

その他、2工程目の抜け際で大きな加工音がした理由は、抜け際のバリを削る際に生じた音ではないかと判断する。よって、抜け際に生じるバリの大きさを小さくするような加工方法も考えていかなければならない（図10）。

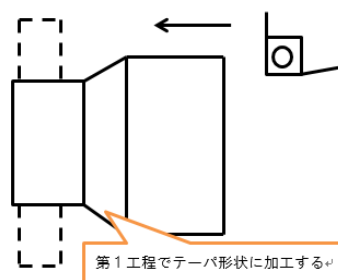


図10 バリ抑制

結果、旋削粗加工においては、各企業で加工することはできたが、切屑処理による問題と工具欠損による問題が浮き彫りになった。参加企業は、この経験を参考に今後この問題に立ち向かっていく必要がある。

6-2 旋削仕上げ加工

メーカー推奨切削条件は、 $V_c 25 \sim 85$ (m/min)、 $F 0.1 \sim 0.25$ (mm/rev)、 $a_p 0.2 \sim 0.8$ 程度である。参加企業からは、「特に問題なく加工ができた」、「切り屑が巻付く」などのコメントが挙げられた。 $V_c 80 \sim 100$ (m/min) で加工している企業が多く、工具摩耗ならびに工具損傷が見受けられた (写真4)。

$V_c 40$ (m/min) で加工している企業では、工具摩耗は見受けられるが損傷までは至っていない。よって、切削速度については $V_c 40$ (m/min) の低条件にすると工具摩耗ならびに工具損傷が抑えられることが窺える (写真5)。

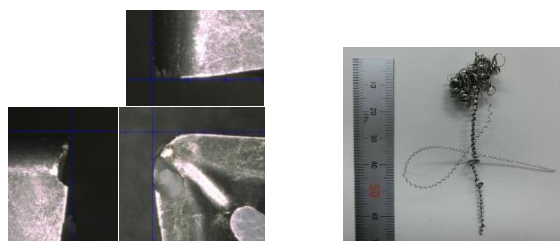


写真4 加工条件
($V_c 100$ 、 $f 0.1$ 、 $A_p 0.2$)

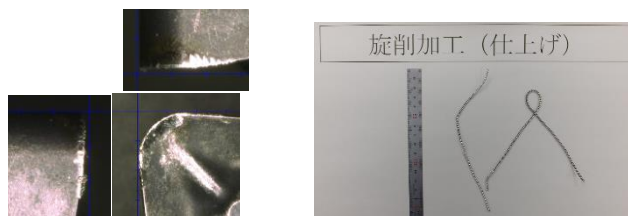


写真5 加工条件
($V_c 40$ 、 $f 0.1$ 、 $A_p 0.4$)

また、大半の企業で切り屑の巻き付きが見受けられた。加工を進めると始めと最後に出てくる切り屑の形態も変化していることから、チップングや溶着、工具摩耗の影響を受けていることが窺える (写真6、写真7)。



写真6 始め切屑



写真7 最後の切屑

表面性状については、一番良いもので端面 Ra0.385 外径 Ra0.505 であった。おおむね各企業 Ra1.0 程度に収まっていることから、Ra1.6 程度の表面性状は確保できそうである。加工寸法については、おおむね各企業とも公差内に収まっていることから、問題なく加工がなされていることが窺える。しかし、工具の摩耗により寸法が 0.07~0.08 程度変化している企業も見受けられることから、摩耗管理はその都度確認する必要があると思われる。

6-3 エンドミル粗加工

メーカー推奨条件は、側面切削で S600 (min^{-1})、F100 (mm/min)、 a_p24 (mm)、 $a_e1.6$ (mm)、溝切削で S580 (min^{-1})、F25 (mm/min)、 $a_p4.8$ (mm) である。参加企業からは、「粗加工エンドミルは何とか持ちこたえたが、刃先先端はボロボロになっていた」、「内側切削時、溶着・摩耗・チッピングが見受けられた。その結果、2 個目の加工時にワークが動いた」、「エンドミル粗加工 2 個目終了時、先端から 1mm 程度摩耗が見受けられ、コーティングが剥がれている」などのコメントが挙げられた。

当初は $\phi 16$ のラジアスエンドミル (4 枚刃) を利用する予定でしたが、在庫がなかったため、 $\phi 14$ スクエアエンドミル (4 枚刃) を使うことになった。写真 8 では、エンドミル側面の切れ刃が欠けているのに対し、写真 9 は欠けていない。よって、何が原因であるかは一概に言えないが、加工条件ならびに加工方法、工具溶着による影響、使用機械の剛性、クーラントの種類及び工具の突出し長さなどの影響による違いなどが考えられる。

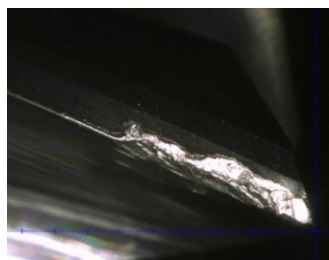


写真 8 加工条件
(V_c30 、 $f_0.042$ 、 $a_p2.7$ 、 $a_e2.5$)

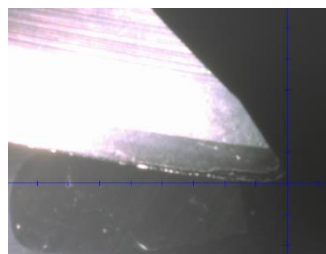


写真 9 加工条件
(V_c25 、 $f_0.05$)
 a_p a_e
内径 2mm 内径 5mm
外周 10mm 外周 1mm

6 角部の側面切削については、多少の溶着ならびに工具摩耗は見受けられるが、 $a_p9.9$ (mm) か $a_p9.8$ (mm) で a_e1 (mm) の加工でも特に問題なく加工できているように思える。

今回、能開大で試し加工した条件は、下記の通りとなる。

- ・ヘリカル補間による切り込み

φ30 ヘリカル切削リード角 1.3° (工具中心) Vc65、f0.085

G03Z-1.0I-15.0

G03Z-2.0I-15.0



G03Z-4.8I-15.0 (ヘリカルでZ-4.8まで切り込み)

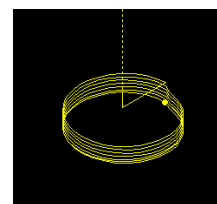


図 10 ヘリカルパス

- ・内側切削 (渦巻き加工) Vc65、ap4.8、ae1.0、f0.085

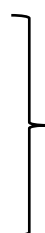
G03I-15.0 (底面をフラットにする)

X0Y15.25R15.25 (渦巻き加工 90°)

X-15.5Y0R15.5 (渦巻き加工 180°)

X0Y-15.75R15.75 (渦巻き加工 270°)

X16.0Y0R16.0 (渦巻き加工 0°)



1周で側面の切り込み
ae1.0で加工



φ49.8まで加工



- ・六角部外側切削 Vc65、ap10、ae1、f0.085

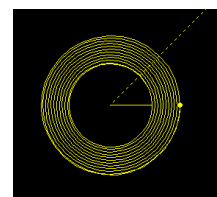


図 11 渦巻きパス

以上の条件で加工した際は、加工時間を要するが前頁の写真9のように工具欠損は見受けられなかった。

以上の点からエンドミル粗加工においては「工具に切り屑が溶着しないような切削油(難削材用水溶性切削液か不水溶性の切削液)を選定する」、「切り込み量を小さくし切削抵抗を軽減する」、「機械剛性の高いマシニングセンタやターニングセンタを利用する」、「工具の突き出し長さは極力短く取り付け、工具径についても内側加工径に対して極力大きな工具径のものを選定する」、「刃先先端に負荷が集中するため、工具先端の欠損を抑制するにはラジラスエンドミルを採用する」、「高圧クーラントによる加工」などを取り入れ挑戦していく必要があると考える。

6-4 エンドミル仕上げ加工

メーカー推奨条件は、側面切削で S910 (min^{-1})、F113 (mm/min)、 a_p10 (mm)、 $a_e0.1\sim0.2$ (mm) 程度である。参加企業からは、「切り屑の問題なし」、「工具損傷及び工具摩耗は見受けられない」、「加工に逃げ有り⇒ゼロカット 2 回」などのコメントが挙げられた。エンドミル粗加工に比べ、工具損傷や工具摩耗、切り屑の排出性などは特に問題がないように見受けられる。

その反面、エンドミルによる倒れの影響であると推察するが、寸法に大きく影響を及ぼしているように思える。よって、加工精度の厳しい箇所については、1 回の仕上げ加工ではなく、2 回～3 回に分けて仕上げ加工をするもしくはゼロカットをする必要があると感じた。

6-5 ドリル加工

メーカー推奨条件は、S1200 (min^{-1})、F0.11 (mm/rev) である。参加企業からは、「1.5MPa スピンドルスルーで加工」、「切り屑処理良好」、「わずかな摩耗が見受けられる」などのコメントが挙げられた。スピンドルスルーで加工しているところは、切り屑の処理ならびに工具摩耗については特に問題がないように思える (写真 10)。2mm ステップで加工している企業では、工具欠損ならびに溶着等が見受けられた (写真 11)。文献などでは、SUS304 やインコネル 718 などの加工では、加工硬化の影響を受けるためノンステップ加工が進められている。今回の課題は穴数がそんなに多くないため工具摩耗の影響がそれほど見られない結果となった。穴数が多くなると工具にどのくらい影響を及ぼすかが今後の課題である。また、今回のドリル深さは浅い加工だったので加工はし易かったが、深穴加工では切り屑の排出性の問題や溶着、工具の曲がりの影響を受けるため、加工方法や加工条件を探る必要があると考える。

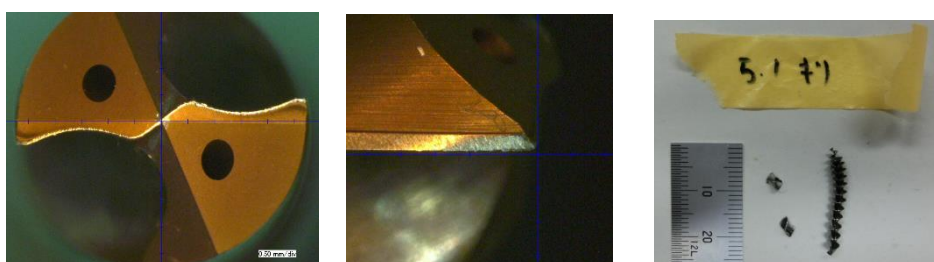


写真 10 加工条件 (Vc19、f0.13、ノンステップ加工、スピンドルスルー)

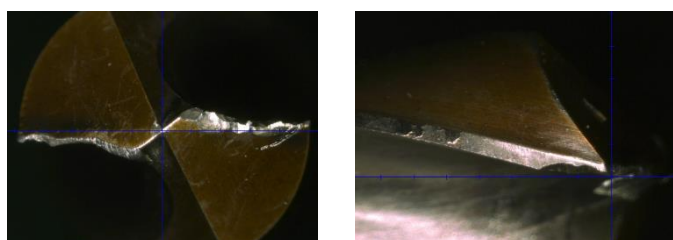


写真 11 加工条件 (Vc20、f0.08、ステップ 2mm 加工、ミルスルーラント and 外部ノズル)

6-6 面取り加工

メーカー推奨条件は、 $S1300$ (min^{-1})、 $F50$ (mm/min) である。参加企業からは、「特に問題なし、良好」、「工具損傷・工具摩耗はなし」、「わずかに摩耗あり」などのコメントが挙げられた。「穴部面取り」なのか「輪郭部面取り」なのかは分からないが、すくい面にわずかな欠損が見受けられた企業もあった。写真 12 については、問題なく加工できたものである。

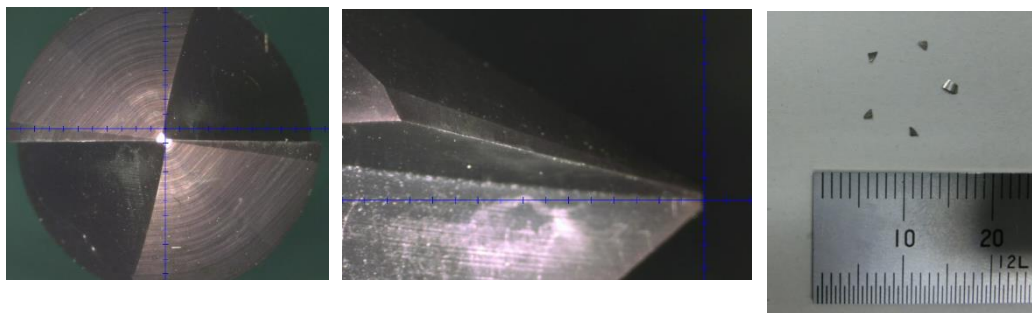


写真 12 加工条件

(V_c22 、 $f0.05$ 輪郭部面取り切り屑)

6-7 M6 タップ加工

メーカー推奨条件は、 $V_c1\sim3$ (m/min)、 $F1.0$ (mm/rev) である。参加企業からは、「工具損傷及び工具摩耗は見受けられない」、「MQL セミドライ加工」、「切り屑の問題なし」、「刷毛で不水溶性の油を塗って加工」、「切粉が工具に巻き付き危険」などのコメントが挙げられた。加工する前は不安視されていたが、今回の加工深さでは特に問題も無く加工ができたと多くの企業から感想を頂いた（写真 13）。今回は、タップ深さも浅かったことから、今後は深いタップ加工がどこまで可能であるか試してみるものが課題の一つとして挙げられた。また、ヘリカル加工なども試してみるのも良いと思う。

タップ加工については、水溶性の切削油ではなく不水溶性の切削油（難削材加工用）を使用した方が工具の寿命も延びることが想定されることから、不水溶性の切削油を利用した加工も検討してみるのも良いと思う。

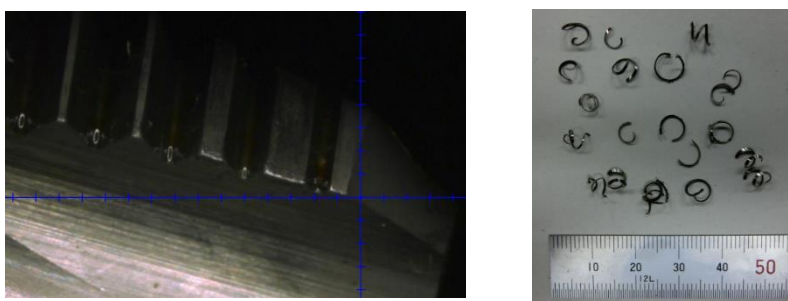


写真 13 加工条件 (V_c2 、 $f1.0$)

6-8 専門家からの講評

今回のインコネル 718 の加工体験から二つの話がなされた。

一つ目は、難削材加工をおもしろいと思って取り組んでほしい。うまくいかないときは、実際にどういう現象が起きているのか、ただ漠然とできないと判断するのではなく、身近なところに顕微鏡などを置いて工具の切れ刃を観察することをお勧めする。

二つ目は、今回取組んで寸法公差内に収まっている企業とそうでない企業がある。今回の取り組みは、加工結果ではなく加工プロセスに大きな価値をもつ事業である。「良かれと思ってやったけどだめだった、失敗したと思ったらうまくいった」というところもあったと思う。そういう経験を積めたことに意義がある。ぜひ今回の経験を次に活かしてほしい。

6-9 総括

今回の研究会で、各社加工品が提出されたことは総合的に非常に良い経験になったと思う。しかし、インコネル 718 の加工を通して浮き彫りになった問題も見えてきた。

切削抵抗を大きく伴う粗加工では、工具欠損、溶着、旋削加工においては切屑がつながり巻付くなど加工をする際に苦慮したところである。その反面、仕上げ加工やドリル加工、タップ加工については、想定していたよりも難なく加工ができた。

よって、今後は粗加工時にはどのくらいの加工条件で設定すべきなのか、使用工具形状ならびに工具材種はどれがベストなのか、クーラントの種類についてはどれが良いのか、工作機械の仕様についてはどのくらいのランクの機械を選定すべきなのか、高圧クーラントの必要性があるのかなど多くの情報を共有化し、解決へと各企業同士で導いていくことが重要であると考えます。これからも、各企業で加工情報を共有化し合い、岡山県は難削材加工のスペシャル県であることを PR ができるよう勧めて頂きたい。

7. 参加企業の感想および今後のスケジュール (3月)

今回の参加企業の感想と今後の課題についてヒアリングしたので下記に示す。

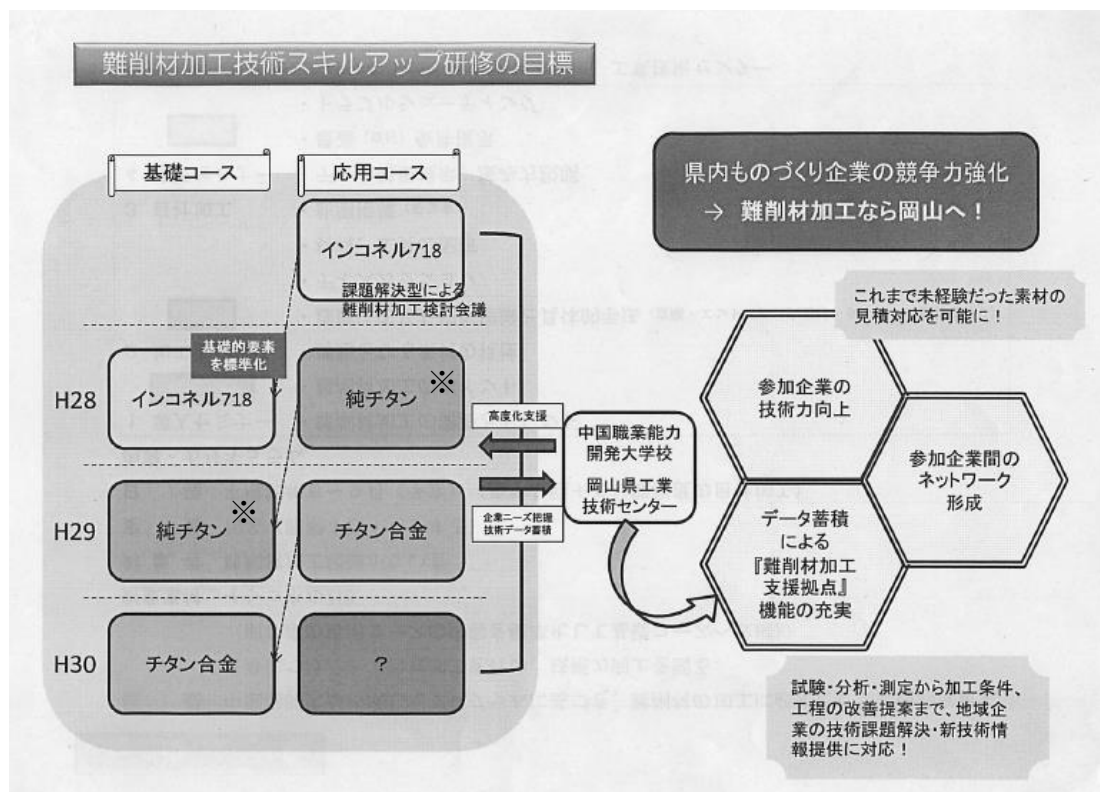
<インコネル718を加工して>

- ・今回の取組みのような内容であれば、ある程度の自己負担も問題ない。
- ・今回の研究会では、指導とセットになっているので意味が大きい。
- ・参加企業のネットワークが形成されることも重要である。加工方法などで意見を聞くことができるようになるのもメリットだ。
- ・インコネルは加工経験がなかったので興味深く挑戦ができた。

<今後の課題>

- ・インコネルの場合、シャフト加工、ねじ加工が課題である。
- ・チタン合金の加工に興味がある。
- ・材種の異なるチタン合金の加工を取りあげてもらえば興味深い。
- ・コスト低減には、今後検討すべきこともあるが、第一歩として意義が大きい。

以上の意見ならびに感想を参考に平成28年度については、参加できなかった企業を対象に、まずはインコネル718の加工から始めてもらい、今回参加した10社の企業は、次のステップとしてアンケートに多くの要望があった「チタン合金の加工」などを実施していくことで方向性が決まった。また、岡山県工業技術センターの機器等も使用しながら進めていくことになり、より充実した研修を目指すことができる環境になった。平成28年度の難削材加工技術スキルアップ研修の流れを図12に示す。



※ 図中の純チタンについては、チタン合金・ニッケル合金・高硬度材に変更しています。

図12 平成28年度 難削材加工技術スキルアップ研修

8. おわりに

今回の研究会では、岡山県産業労働部産業振興課、岡山県産業振興財団技術支援部、専門家、参加企業、能開大講師により進めてきた。参加企業については、社長や工場長、製造リーダなどが主となり取り組んできた。実際にインコネル718を加工して自信につながったのではないかと思う。また、未経験だった材料を加工することにより見積対応も可能になったと思う。

各企業においては、通常の仕事をこなしながら、今回の課題製品を加工して大変だったと思う。A社においては、従業員全てにインコネル718の加工を共有化させるために取り組んだとの話も聞いている。このとき、この企業は人材育成に非常に力を入れていると感心した。また、自社でチタン合金の材料を自費で購入し、今回の研究会で情報提供もしてくれた。このように企業ネットワークの一面も見ることができ、私は更なる期待をもった。

今回の研究会の目的は、航空機部品加工への参入である。平成29年度もこの研究会が継続されていることから、更なる加工技術を向上してほしい。そのためにも参加企業は、自社で実際に加工をすることが大事である。そこで問題となる要因を専門家、能開大、岡山県工業技術センターが連携して、原因・対策を講習会ならびに実演を通して示す必要があると考える。また、継続して大手航空機部品メーカーによる最新の加工技術も取りあげてもらいたい。そして、岡山県の企業が航空機部品加工に参入できる道筋を立てて頂くよう取り組みに期待したい。

最後に、この取り組みご協力いただいた関係者の皆様、ご助言・ご指導いただきました皆様に深く御礼申し上げます。

【商標】

インコネル(Inconel®)はニッケル基の超合金の商標である。

スペシャルメタルズ社(Special Metals Corporation) (旧インコ社・International Nickel Company) の商品名

【参考文献】

- 1) 狩野勝吉 (2010) 『難削材の上手な削り方 ステレンス鋼』
p. 36-54, p. 124-126 日刊工業新聞社.
- 2) 狩野勝吉 (2000) 『データでみる次世代の切削加工技術』
p. 417-p426, p. 433-p435, 日刊工業新聞社.
- 3) 岡山県産業振興財団 HP
http://www.optic.or.jp/enterprise_detail/index/27.html