

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「難削材の精密切削技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 小松螺子製作株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1 - 1 研究開発の背景・研究目的
- 1 - 2 研究開発の高度化目標及び技術的目標値
 - 1 - 2 - 1 研究開発の具体的内容
- 1 - 3 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
 - 1 - 3 - 1 事業化（実用化）の実施体制
 - 1 - 3 - 2 研究体制 研究組織及び管理体制
- 1 - 4 成果概要

第2章 本論

- 2 - 1 5 インチチャック NC 旋盤における高速主軸回転装置の開発
 - 2 - 1 - 1 実験結果
 - 2 - 1 - 2 まとめ
- 2 - 2 刃具コーティング技術の開発
 - 2 - 2 - 1 純鉄加工におけるコーティングの違いについて
 - 2 - 2 - 2 PVD コーティングの刃先状態について
 - 2 - 2 - 3 考察とまとめ
- 2 - 3 振動防止ボーリングバイトホルダーの開発
 - 2 - 3 - 1 現状分析
 - 2 - 3 - 2 加工方法と加工条件
 - 2 - 3 - 3 測定結果 と考察
 - 2 - 3 - 4 対策
 - 2 - 3 - 5 まとめ
- 2 - 4 リーマにおける最適捻れ角の研究開発
 - 2 - 4 - 1 現状分析
 - 2 - 4 - 2 切粉吐出し性向上対策
 - 2 - 4 - 3 結果とまとめ
- 2 - 5 加工油の研究開発

- 2 - 6 ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善
- 2 - 7 ホーニング加工における刃具目詰まり防止の研究開発
 - 2 - 7 - 1 測定結果
- 2 - 8 工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発
 - 2 - 8 - 1 加工方法
 - 2 - 8 - 2 寸法変位量の確認
 - 2 - 8 - 3 初期磨耗の管理について
 - 2 - 8 - 4 自動補正プログラム反映結果
 - 2 - 8 - 5 作業の簡略化
 - 2 - 8 - 6 まとめ

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、難削材である純鉄部品の細穴加工を設備面、刃具・刃物台面、切削油面、寸法補正面、素材面における切削技術開発にて高精度かつ、量産性を実現させる。

設備面では、5インチチャックNC旋盤における高速主軸回転装置の開発について取り組む。今までの研究で純鉄の加工では、一般的な鉄よりも主軸回転数を高くする事で工具寿命が向上する事が分かっている。したがって一般仕様のNC高速で主軸回転数を上げられる設備を開発する。そうすることで切削条件を上げる事が出来るが、その反面ボーリングホルダーが振動する事で精度確保ができなくなることが課題となっている。この課題については、後述の振動防止ボーリングバイトホルダーの開発で取り組む。

刃具、刃物台面では、刃具コーティング技術開発を行なう。現状はTiNコーティングを施した刃具を使用しているが、それ以上に耐熱性に飛んだ新たなコーティングを開発して工具寿命向上を目指す。切粉吐き出し性向上による工具寿命向上にも取り組み、リーマに於ける最適捻れ角の研究開発を行なう。また、ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善にも取り組み、寸法精度に影響の出ない微振動や超音波振動を与える事により、ワークと刃具の接触時間を極力短くし工具寿命向上を目指す。

刃物台については、前述したように振動防止ボーリングバイトホルダーの開発を行なう。主軸と同時にリーマも回転できる設備の開発で、振動防止を実現させる。

切削油面では、加工油の研究開発を行なう。刃先へ切削油を掛ける事により、刃先を冷却させているが、一般的に冷却効果の高い切削油は粘度が低い。しかしながら、純鉄はネバい為、粘度の高い切削油が良い。切削油においても、既製品では対応できないため、新たに純鉄に適した切削油の開発を行う。

寸法補正面では、量産性をさらに高める為に、工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発を行なう。工具の初期磨耗の点においてはバラツキがある。そこで、NC旋盤に寸法自動測定装置を設置し、寸法補正を自動的に行えるようにする。しかし、現状の装置だと、NC機の外にて一箇所ずつハンドで寸法測定を行うため、寸法補正を自動で入れるまでに数個の製品を加工してしまう。初期磨耗が激しいので、その間に寸法変化がすすみ補正が間に合わない。したがって、加工終了後に自動寸法測定を行い次の製品の加工が始まるまでに補正が入るような装置を開発する。

素材面では、切削の前工程の冷間鍛造にて、細い材料径から太く圧造して完成製品形状に近い形まで成型することで、軟質性の難削材を加工硬化させ、切削性を高める試みも行なう。

これにより、切削加工にて純鉄部品の小内径を、真直度5ミクロン以下、面粗度 $R_z 1.5$ 以下に充分満足させることは当然ながら、研磨加工の場合1個当り60秒のC/Tがかかるところを切削加工で20秒に短縮する。また、切削加工時、内径切削刃具の寿命を現状の10倍まで向上させ、量産性を確立させることも製造目標として研究に取り組む。

1 - 1 研究開発の背景・研究目的

昨今の自動車メーカーは、環境対応の燃費向上車を相次いで投入している。今後、二酸化炭素による温暖化、石油燃料の枯渇が懸念される中、その開発はさらに進むと予想される。自動車メーカーでは、燃費向上をさらに推進するために、決められた機能しか走行性能をコントロールできない従来型のメカ的装置を減少させ、様々な状況でも最適なコントロールができる電子制御装置を一層多用すると考えられる。電子制御の中には、電気エネルギーを直線運動に変換するリニアソレノイドという装置が存在する。その装置には、コイルを巻かれた磁性体が構成部品として用いられている。その磁性体の材質には純鉄が適するとされ、直線運動させる物体の動的精度を抜群に高めることができる。純鉄は文字通り鉄の純度が高く、炭素などの不純物をほとんど含まない。しかしながら、純鉄には粘りがある性質があり、切削性は非常によくない。磁性体として極めて高精度であっても、コスト高により採用を見送る自動車メーカーもある。純鉄部品の低コスト化は、自動車のさらなる燃費向上を促進するための加工企業の課題である。最近純鉄部品が大型化、一体化されてきており、切削長が伸び、かつ、より高精度になったため、一層の技術開発が急務で求められている。

本研究では、自動車の燃費向上のために、今後、積極的な活用が期待されるリニアソレノイドの純鉄部品の精密切削加工において、切削の加工精度、並びに刃具寿命を向上させる。また、従来の研削工程を削減し、切削工程で仕上げをする新たな技術を開発し、純鉄のような粘りのある難切削材全般の加工技術の開発と確立を目指す。

1 - 2 研究開発の高度化目標及び技術的目標値

研究開発の高度化目標及び技術的目標値を以下 8 項目について説明する。

テーマ	サブテーマ	技術的目標値	製造目標値
【1】内径加工の技術開発への対応	5 インチチャック NC 旋盤における高速主軸回転装置の開発	・ Max 8,000 rpm の 5 インチチャック NC 旋盤の開発 ・ 刃物台 8 個搭載仕様の NC 旋盤の開発	・ リーマ刃具寿命 (現状の 10 倍) ・ 部品精度工程能力 Cpk 1.33 以上確保
	刃具コーティング技術開発	耐熱・耐摩耗性に優れたコーティングの開発	
	振動防止ボーリングバイトホルダーの開発	・ ホルダ最大突き出し量 (L/D) 5.5 ・ 加工変位量 5 μm 以下	
	リーマにおける最適捻れ角の研究開発	切粉吐き出し性向上による工具寿命向上	
	加工油の研究開発	加工性・冷却性に優れた加工油の開発により工具寿命の向上	

【 2 】 超微振動発生装置の開発への対応	ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善	NC旋盤における超音波装置の開発	
	ホーニング加工における刃具目詰まり防止の研究開発	微振動発生装置取り付けにより切粉の吐き出し性を向上させ工具寿命の向上を図る	
【 3 】 リアルタイム自動寸法補正の開発	工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発	切削サイクルタイムを変えずに、寸法自動測定を行い、次の加工品へ寸法補正を自動で行える装置の導入	設備総合効率 90%以上

1 - 2 - 1 研究開発の具体的内容

5インチチャックNC旋盤における高速主軸回転装置の開発（実施：小松螺子製作株式会社）

設備面では、5インチチャックNC旋盤における高速主軸回転装置の開発について取り組む。今までの研究で純鉄の加工では、主軸回転数を、一般的な鉄よりも高くする事で工具寿命が向上する事が分かっている。したがって一般仕様のNC旋盤よりも高速で主軸回転数を上げられる設備を開発する。この開発については、設備メーカーと共同で行なっていく。設備の仕様を決定し、それに見合った設備を用い設備メーカーで試加工のトライを行ない、トライ&エラーで最終的な設備仕様を決定していく。

そうすることで切削条件を上げる事が出来るが、その反面ボーリングホルダーが振動する事で精度確保ができなくなることが課題となっている。この課題については、振動防止ボーリングバイトホルダーの開発で取り組む。

刃具コーティング技術開発（実施：小松螺子製作株式会社）

刃具、刃物台面では、刃具コーティング技術開発を行なう。現状はTiNコーティングを施した刃具を使用しているが、それ以上に耐熱性に飛んだ新たなコーティングを開発して工具寿命向上を目指す。この開発については、各コーティングメーカーとトライ&エラーを繰り返しながら共同開発を進めていく。

振動防止ボーリングバイトホルダーの開発（実施：小松螺子製作株式会社）

刃物台については、振動防止ボーリングバイトホルダーの開発を行なう。主軸と同時にリーマも回転できる設備の開発で、振動防止を実現させる。この開発については、各工具メーカーとトライ&エラーを繰り返しながら共同開発を進めていく。

切粉吐き出し性向上による工具寿命向上（実施：小松螺子製作株式会社）

切粉吐き出し性向上による工具寿命向上にも取り組み、リーマに於ける最適捻れ角の研究開発を行なう。この開発については、各切削刃具メーカーとトライ&エラーを繰り返しながら共同開発を進めていく。

加工油の研究開発（実施：小松螺子製作株式会社）

切削油面では、加工油の研究開発を行なう。刃先へ切削油を掛ける事により、刃先を冷却させているが、一般的に冷却効果の高い切削油は粘度が低い。しかしながら、純鉄はネバい為、粘度の高い切削油が良い。切削油においても、既製品では対応できないため、新たに純鉄に適した切削油の開発を行う。切削油メーカーと共同開発し、現状使っている切削油の性能分析を行なう。性能分析の内容については、切削抵抗の大小によって切削油としての性能がどのように変化するかを分析する。これは、切削油に含まれる添加剤の種類を変えることで性能が変化する為、硫黄系、塩素系などを、添加することで、切削油の性能がどのように変化するか見極める。純鉄の加工は、切削抵抗が大きい為、それに見合った性能が出せるように検討する。

ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善・ホーニング加工における刃目詰まり防止の研究開発（実施：小松螺子製作株式会社）

ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善にも取り組み、寸法精度に影響の出ない微振動や超音波振動を与える事により、ワークと刃物の接触時間を極力短くする事で工具寿命向上を目指す。この開発については、各工具メーカーと各設備メーカーでトライ＆エラーを繰り返しながら共同開発を進めていく。

工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発（実施：小松螺子製作株式会社）

寸法補正面では、量産性をさらに高める為に、工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発を行なう。工具の初期磨耗の点においてはバラツキがある。そこで、NC旋盤内に寸法自動測定装置を設置し、寸法補正を自動的に行えるようにする。しかし、現状の装置だと、NC機の外で寸法測定を行うため、寸法補正を自動で入れるまでに3個の製品を加工してしまう。初期磨耗が激しいので、その間に寸法変化がすすみ補正が間に合わない。したがって、加工終了後に自動寸法測定を行い次の製品の加工が始まるまでに補正が入るような装置を開発する。この開発については、各設備メーカーでトライ＆エラーを繰り返しながら共同開発を進めていく。

プロジェクトの管理・運営

- ・事業管理者・小松螺子製作株式会社において、本プロジェクトの管理を行う。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書を作成する。
- ・本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う。

1 - 3 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1 - 3 - 1 事業化(実用化)の実施体制

小松螺子製作株式会社の組織において、
生産技術・・・本研究への取り組み
営業・・・展示会への出店、お客様への積極的売込み
製造・・・試作部品の試作、問題点の抽出、生産技術と一体化となった現場レベル
での問題点の解決と改善

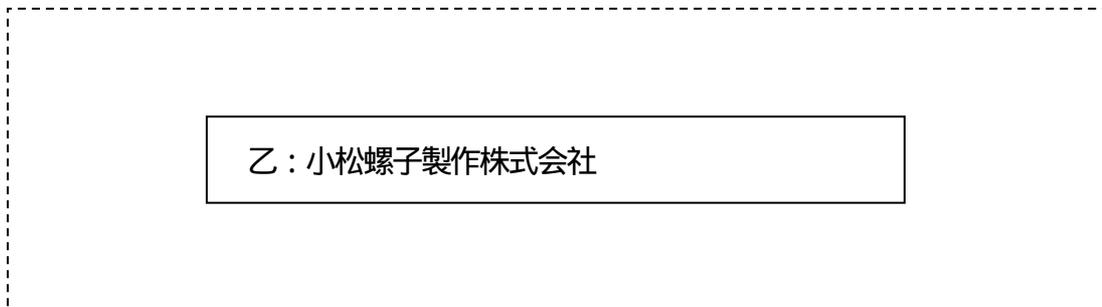
を実施体制とする。

当社が現在まで自動車の川下製造業者殿とお付き合いをさせて頂くようになったのは、総て展示会へ出店し技術力をアピールしてきた成果である。当社の場合、社長が技術者兼営業トップセールスとして、前面にたってお客様と即断即決で営業をかけていく。

当社単独での泥臭いアピールの方法ではあるが、現在までその方法で成果を出している為、継続して同じ方法で今回の研究開発の事業化を積極的に進めていく。

1 - 3 - 2 研究体制 研究組織及び管理体制

研究組織(全体)



統括研究代表者(PL)
小松螺子製作株式会社
生産技術部長 小松利直

副統括研究代表者(SL)
小松螺子製作株式会社
生産技術部 Y氏

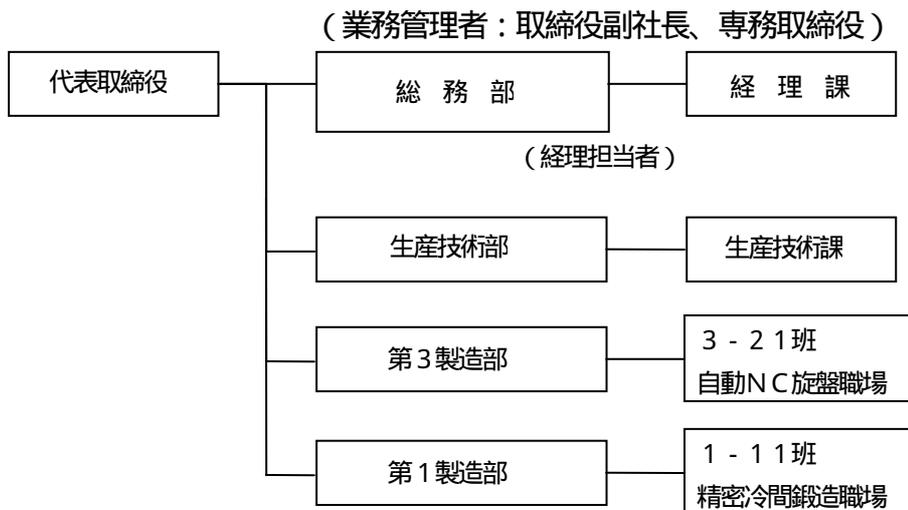
・主担当研究員の役職・経歴

計画名：難削材の精密切削技術の開発			
研究実施者の名称（機関名）：小松螺子製作株式会社			
研究員等氏名	役職	研究分担	
小松常保	代表者 （代表取締役）	なし	
小松利直	主任研究員 （生産技術部部长）	総括	
Y氏	副主任研究員 （生産技術部アドバイザー）	設備・刃具の分析	
S氏	研究員 （生産技術部社員）	設備、刃具、切削油の研究	

管理体制

・事業管理者

[小松螺子製作株式会社]



管理員及び研究員の所属、氏名 ・ 担当研究内容

【事業管理者】小松螺子製作株式会社

・管理員

氏名	所属・役職	研究実施内容(番号)
小松 保晴	専務取締役工場長	

・研究員

氏名	所属・役職	研究実施内容(番号)
小松 利直	取締役生産技術部長	
Y氏	生産技術部アドバイザー	
S氏	生産技術部担当	
G氏	生産技術部担当	
I氏	生産技術部担当	
M氏	自動NC旋盤職場係長	
K氏	自動NC旋盤職場班長	
Y氏	自動NC旋盤職場担当	
I氏	自動NC旋盤職場担当	
K氏	精密冷間鍛造職場担当	

経理担当社及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

小松螺子製作株式会社

(経理担当者) 総務部経理課 部長 I氏

(業務管理者) 取締役副社長 T氏
専務取締役工場長 小松 保晴

他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
T氏	小松螺子製作株式会社 取締役副社長	
小松 保晴	小松螺子製作株式会社 専務取締役工場長	委
小松 利直	小松螺子製作株式会社 取締役生産技術部長	委 PL
Y氏	小松螺子製作株式会社 生産技術部アドバイザー	委 SL
S氏	小松螺子製作株式会社 生産技術部担当	委

G氏	小松螺子製作株式会社 生産技術部担当	委
I氏	小松螺子製作株式会社 生産技術部担当	委
M氏	小松螺子製作株式会社 自動NC旋盤職場係長	委
K氏	小松螺子製作株式会社 自動NC旋盤職場班長付	委
Y氏	小松螺子製作株式会社 自動NC旋盤職場担当	委
I氏	小松螺子製作株式会社 自動NC旋盤職場担当	委
K氏	小松螺子製作株式会社 精密冷間鍛造職場担当	委
I氏	小松螺子製作株式会社 総務部部長	

1 - 4 成果概要

サブテーマ 5 インチチャック NC 旋盤における高速主軸回転装置の開発

1. 主軸回転数 8,000 回転まで上がる設備を検討したが、回転数を上げる事により標準の設備よりも剛性のあるフレームが必要であり、設計・開発の期間が 8 ヶ月掛かるため、今回のプロジェクト内では開発が出来なかった。
2. ターレット式 NC 旋盤とクシ刃式 NC 旋盤では、クシ刃式 NC 旋盤の方が芯ズレの精度がよく刃具寿命の向上に成功した。

サブテーマ 刃具コーティング技術の開発

1. PVD、CVD、DLC コーティングの中で PVD コーティングが純鉄の加工に於いては刃先の磨耗進行速度が一番遅い事が分った。
2. PVD コーティングの中でも TiN コーティングがもっとも磨耗量が少ないが、コーティングの剥がれによる溶着という現象は対策出来なかった。

サブテーマ 振動防止ボーリングバイトホルダーの開発

1. オイルホールがついたボーリングバイトと、オイルホールを付け更にシャンク径を大きくしたボーリングバイトで実験を行ったが、円筒度を改善させる事が出来なかった。
2. 加工方法をボーリングバイトから特殊リーマを製作することで円筒度が改善できた。製品 1 個当たりの工具単価も大幅に改善する事が出来た。

サブテーマ リーマにおける最適捻れ角の研究開発

1. 面粗度を向上するためにはストレート刃のリーマが適している事が分った。
2. 真円度を向上するためには、捻れ角を付けた方が良い事が分った。その中で捻れ角を緩くした方が面粗度が向上する事が分った。

サブテーマ 加工油の研究開発

1. 純鉄の加工に於いては、中動粘度が適している事が分った。
2. オイルクーラー設置により、切粉の焼き付きは解消できたが、刃物の寿命向上には直接繋がらなかった。

サブテーマ ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善

1. ターレット式 NC 旋盤では振動装置や超音波装置を取り付ける事が出来なかった。
2. クシ刃式 NC 旋盤で振動装置や超音波装置の取付を計画したが、純鉄は非常に柔らかい材質であるため微振動を与えると、製品をキズをつけてしまい製品機能を損なう事が分った。

サブテーマ ホーニング加工における刃目詰まり防止の研究開発

3. 電着ダイヤモンド砥石 (DIA # 600) をしようして、ホーニング盤で小内径の加工を行った。連続 30 個までは円筒度・真円度・面粗度の精度は問題なかったが 40 個以降で砥石が目詰まりした。微振動を与えるだけでは、目詰まりが防止できない事が分った。

サブテーマ 工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発

1. 純鉄の加工に於いて、周速の違いから一筆書きの切削方法では寸法が管理できず、別々の刃物で加工する必要がある事が分った。
2. 通常の自動寸法補正装置では、純鉄特有の初期磨耗に追従する事は出来ない。自動補正プログラムを導入する事で、チップ交換時の寸法の急激な変化を抑制する効果がある事が分った。
3. 定量補正ボタンおよび一体型治具を用いたエアーマイクロを使う事により、オペレーターの作業を軽減でき、量産加工において大きな効果ある事が分った。

総括

小内径切削刃具寿命については、研究前から、3月末の時点では、4.5倍まで向上させることができた。目標まで届かなかったが、まだ、研究の余地が十分ある、加工油の研究と刃具コーティングの研究、その他未知の研究分野にも今後取り組み必ず10倍まで寿命を伸ばすよう研究を引き続き行っていく。

また、内径加工C/Tは、研究前60秒かかっていたが、3月末の時点では、19秒まで短縮することができ、生産性を大幅に上げる研究成果をあげた。

本論

平成 21 年度において遂行した開発内容を項目ごとに以下に記す。

2 - 1 5 インチチャック NC 旋盤における高速主軸回転装置の開発

今までの開発で純鉄の加工は切削抵抗および刃先の発熱が大きいため溶着が起りやすい。そのために一般的な鉄よりも主軸回転数を高くすることで工具寿命が向上する事が分っている。現状 6,000 回転まで上がる設備を持っているがメーカーと主軸回転数が 8,000 回転まで上がる設備の検討を行った。しかしながら設備の剛性面から 1 からの設計になるため、開発期間が 8 ヶ月程度掛かる事もあり、今回のプロジェクトの期間内に開発できない事がわかった。

本研究の開発品は、外径、及び内径を切削加工にて仕上っている。その中で特に溶着の進行が早く刃具寿命が短いのが小内径のリーマである。

純鉄の特性として、粘り事が溶着につながりそれが刃具寿命に悪影響を与えている事は間違いない(図 2-1-1)。その他の要因としてターレット式の旋盤でリーマ加工を行っているため、リーマ前の下穴との芯ズレが 0.01 mm 程度発生しており、その影響も工具寿命に悪影響を及ぼしていると考えられる。そこで、クシ刃式の NC 旋盤にてターレット旋盤と同条件で加工を行いリーマの寿命にどのような変化が起こるか実験を行った。

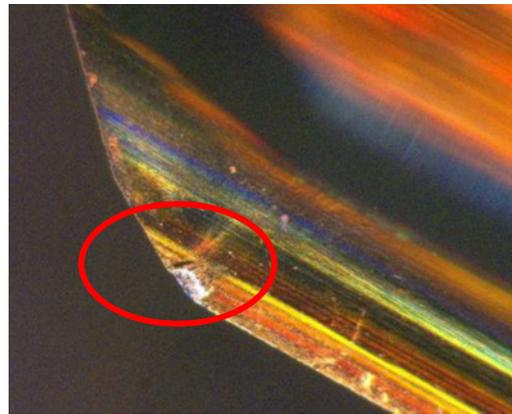


図 2-1-1 リーマの溶着状態

2 - 1 - 1 実験結果

使用した工具はストレート 6 枚刃のリーマである。リーマが寿命になると真円度が多角形になる。それを判断する為に、ピンゲージを全数通して寿命を確認した。その結果、ターレット式 NC 旋盤では 100 個目でピンゲージが通らなくなった。クシ刃式 NC 旋盤では 250 個まで加工する事が出来た。

2 - 1 - 2 まとめ

ターレット式 NC 旋盤と比べ、クシ刃式 NC 旋盤の方が刃物台の芯ズレが無くリーマの寿命向上に繋がる事が分った。リーマに関わらず、外径旋削用チップや内径旋削用チップにも同様の効果が期待できる。本研究においては、クシ刃式の設備を導入して刃具寿命向上の研究を進めて行く事とする。また、超高速主軸回転の NC 旋盤も非常に効果が上がると考えられるので、クシ刃タイプでの超高速主軸回転が出来る NC 旋盤の開発検討を継続して続けて行く。

2 - 2 刃具コーティング技術の開発

純鉄は非常に粘りが強く、溶着が発生しやすい。耐熱性に飛んだコーティングを選択することにより工具寿命向上と加工精度の向上を目指す。

2 - 2 - 1 純鉄加工におけるコーティングの違いについて

PVD コーティングと CVD コーティング及び DLC コーティングを施した外径旋削用チップを用意して同条件で加工した時の刃先の状態を確認した。

CVD コーティングは、刃先のエッジが大きくなる為、溶着が発生し、欠損という進行が確認できる。PVD コーティングが純鉄加工には効果があると判断できる。DLC コーティングは切屑の滑りが悪く、刃先の摩耗進行が非常に早い。PVD コーティングはコーティング膜が薄膜である為コーティング膜の剥離、母材の摩耗、欠損という進行が確認できる。しかしながら、CVD コーティングや DLC コーティングよりも PVD コーティングが純鉄加工には効果があると判断できる。

2 - 2 - 2 PVD コーティングの刃先状態について

過去の研究開発に於いて、純鉄加工には TiAlN コーティングが適していると結論付けた。しかしながら今回の製品において TiAlN コーティングでも溶着が酷く工具寿命が極端に悪い。過去の研究開発も今回の製品と同様、冷間鍛造にて素材を整形し切削加工にて仕上げている。過去の研究時と今回の大きな違いは冷間鍛造の据え込み比の違いにより表面の加工硬化率が違う事が起因していると考えられるが、その検証は出来ておらず今後の課題である。

TiN、TiAlN、TiCN の3種類においてコーティング膜の特性から純鉄加工における刃先状態を確認した。

刃先は TiN TiAlN TiCN の順番で純鉄の加工に於いては平滑性が良くなる事が分った。しかしながらコーティングの剥離は改善できず、剥離した部分から溶着・磨耗が進行していく事が考えられる。

2 - 2 - 3 考察とまとめ

純鉄の加工に於いて PVD コーティングが適している事が分った。その中でも TiN コーティングが有効であると考えられるが、コーティングの剥離は改善できず、剥離した部分から溶着・磨耗が進行していくと考えられる。これらを改善する為には、多層皮膜コーティングが有効だと考えられる。今回の研究では確認する事が出来なかったが今後、継続して効果を試していく。

2 - 3 振動防止ボーリングバイトホルダーの開発

小内径リーマ加工を行う為に、荒加工にて下穴をドリルで加工している。製品機能上、外径と内径の同軸度は必要な箇所であり荒加工と仕上げ加工においてチャッキング部の掴み変えがある為に、内外径の同軸度を確保する事が出来ない。したがって小内径リーマ加工を行う前に、ドリル穴を中仕上げする必要がある。

2 - 3 - 1 現状分析

M社の極小内径加工用を使用。シャンク径は 4.0mm でノーズ R0.4 のチップを使用した。

2 - 3 - 2 加工方法と加工条件

6 インチ NC 旋盤 (A社製) にワークをチャッキングしてボーリング加工をする。ボーリング加工の後小内径リーマ加工を行った。

2 - 3 - 3 測定結果 と考察

ボーリング加工での円筒度は悪く、ボーリングバイトの突き出し量が長い為にビビリが発生して加工精度に悪影響を及ぼした。リーマ加工後に円筒度は強制されているが、リーマの刃先が全面に当たらず偏磨耗につながりリーマの寿命が向上しない影響の1つと考えられる。

2 - 3 - 4 対策

ボーリングバイトがビビリ原因として、純鉄が非常に粘く切削抵抗が大きい為だと考えられる。そこで切削抵抗を軽減する為に、オイルホール付のボーリングバイトとシャンク径を2mm大きくしてボーリングバイトに剛性を持たせたものを用意した。

10 個連続で加工し、円筒度の平均を調べた結果、通常のボーリングバイトよりも円筒度は向上したが、加工時のビビリは解消されない結果となった。小内径と小径であり、かつ突き出し量が長い対策をボーリングバイトの剛性および切削抵抗の軽減だけで行うのは困難である事が分った。そこでボーリングバイトの加工から、荒リーマを特別に製作して実戦を行った。

2 - 3 - 5 まとめ

ボーリングバイトの突き出し量が大きい為、ボーリングバイト自体でビビリを対策する事は困難である。その対策として小内径仕上リーマ前の中仕上にもリーマを用いる事により円筒度は格段に向上した。またボーリングバイトで加工時は、刃具の持ちも悪くすぐ交換していたが、製作リーマに変えることで寿命が 80 倍まで伸ばす事が出来た。製品 1 個当たりに掛かる消耗工具費も大幅に改善でき、量産化において大きな効果が期待できる。

小内径仕上リーマでの円筒度はボーリングバイトの時とあまり差は出てないが、今後小内径仕上リーマの命数向上が期待でき、継続して研究を続けて行きたい。

2 - 4 リーマにおける最適捻れ角の研究開発

切削加工完了時での面粗度は、工程能力も加味して 1.5Z 以下が望ましい。現状、弊社ではストレート 6 枚刃のリーマを使用しているが、小径の為切粉吐き出しのポケットが小さく、切粉の吐出し性に問題があった。

2 - 4 - 1 現状分析

現状、弊社ではストレート 6 枚刃のリーマを使用しているが、小径の為切粉吐き出しのポケットが小さく、切粉の吐出し性に問題がある。

2 - 4 - 2 切粉吐出し性向上対策

現状のストレート 6 枚刃では切粉がポケットに詰ってしまうため、4 枚刃のストレートリーマを製作しポケットを大きくして実験する。またストレート刃よりも捻れ角の付いたリーマの方が一般的には切粉の吐出し性が良いとされている。したがって捻れ角 15° と 30° のリーマでどのような違いが出てくるか実験する。実験に当たり、設備・加工条件は同一とする。

2 - 4 - 3 結果とまとめ

3 種類のリーマについて、面粗度・真円度について評価を行った。ストレート刃と捻れ角を比較すると、面粗度はストレート刃の方が良い事が分り、真円度の面では捻れ角の方が良い事が分った。しかしながら、4 枚刃と 6 枚刃の違いもあり、刃の枚数によって面粗度と真円度の寸法精度が変化する事も考えられる。引き続き刃の枚数による寸法の違いは研究を進めていく。

捻れ角 15° と 30° を比較すると、15° の方が面粗度が良い事が分った。捻れ角を付けていないストレート刃がより面粗度が良いので、捻れ角が緩いほど面粗度は向上する事が分った。真円度については大きな差が出てこなかった。

上記の結果を踏まえ、次のステップとしてストレート刃と捻れ角 15° の中間をとって 6° のリーマを製作して実験を行う。また切粉の払い出し性を重視して 4 枚刃でどのような結果が出るか引き続き研究開発を続けていく。

2 - 5 加工油の研究開発

純鉄を加工する際、加工点での発熱が大きくそれが起因して溶着・磨耗が発生すると考えられている。したがって刃先を冷却させる事により切削性が向上すると思われる。一般的に冷却効果が高い切削油は粘度が低い。しかしながら純鉄のように粘り物を加工するためには粘度の高い切削油が良いとされている。純鉄を加工するに当たりこれらの相反する条件の接点を見つける事が量産化に繋げる鍵になる。そこで、粘度の違う切削油を 3 種類（動粘度 11.9、16.0、22.5）用意してチップの磨耗状況を確認した。中動粘度の加工油が一番刃先の磨耗に良い結果がでた。3 種類とも油の成分は同等品である事から、中動粘度の加工油が純鉄には適している事が分った。更に中動粘度の加工油のオイルクーラーを追加して、常に冷却された油を刃先に供給できるようにした。

クーラー設置後、明らかに切粉の焼きつきが改善されている。溶着に関してはクーラー設置前後での改善効果は得る事が出来なかった。しかしながら発熱を抑える効果があることは明白であるので、耐熱性と言う点でも今後は有利に働くと思われる。オイルクーラーの設置により、コーティングを選ぶ幅も広がっていくので今後継続して

加工油については研究を続けていく。

2 - 6 ワークと刃物の接触時間低減による構成刃先の改善

純鉄の加工に於いて、一番の問題は材料が粘く溶着しやすい事である。その為、切削加工に於いて切粉が切れる事が無く切削抵抗が大きく発熱も大きいと考えられる。それらを改善する為に工具に微振動および超音波振動を与える事で、ワークと刃物の接触時間を極力短くして、切削抵抗を抑える。また、ワークと刃物が微振動により瞬間的に離れるので、それによって切粉が分断されて工具寿命が向上すると思われる。

しかしながら一般的なターレット式 NC 旋盤では、工具がターレットの軸を中心に回転するため、振動装置または超音波装置を取り付ける為の配線が非常に困難であり今回の研究開発に於いて、実行する事が出来なかった。

そこで、クシ刃タイプの NC 旋盤を購入し、ツールヘッドに超音波装置を取り付けて実験を行う事を計画した。しかしながら次のテーマで記述するが微振動を与える事で刃先でワークを叩き、製品にキズがついてしまった。純鉄が非常に柔らかい素材である為に出ていた現象であると思われる。したがって超音波装置の取り付けに関しては研究を一旦凍結する事とした。

2 - 7 ホーニング加工における刃目詰まり防止の研究開発

純鉄の加工に於いて、材料が非常に粘く研磨仕上では直ぐに目詰まりが発生しドレスを頻繁に行う必要がある為に、量産加工に向いていない。そこでK社製のホーニング盤に電着ダイヤモンド砥石を取り付け、目詰まりを防止する為に 20Hz から 80Hz の振動をランダム与えて小内径の仕上げ加工の実験を行った。加工条件は回転数 1500rpm、送り速度 80mm/min 取り代 10 μ m として DIA #600 の電着ダイヤモンド砥石を使用した。

2 - 7 - 1 測定結果

連続 30 個加工した測定結果評価を円筒度、真円度、面粗度で行った。円筒度の狙い値は 4 μ m 以下、真円度の狙い値は 3 μ m 以下、面粗度の狙い値は Rz1.5 以下なので、それぞれの項目で満足の行く結果を出す事が出来た。しかしながら、40 個以降で内径にムシレが発生して電着ダイヤモンド砥石が目詰まりしてしまった。

ムシレが発生すると面粗度が悪化して、製品精度を満足しない。微振動を与える事で目詰まりが解消できると考えていたが、想像以上に純鉄が粘り強い事が分った。研磨加工により純鉄加工には限界があり、やはり切削工具で純鉄を切っていく方法で研究を進めていく事にする。そこで、この微振動を発生できるホーニング盤に小内径リーマを取り付けて、微振動を与えてリーマ加工の実験を行った。前述のテーマの中でも記載したが刃先でワークを叩き、製品にキズがついてしまった。純鉄が非常に柔らかい素材である為に出ていた現象であると思われる。面粗度に関しても狙い値 Rz1.5 以下を大きく外れてしまい、期待されるような効果を得る事が出来なかった。

微振動を与える事により切削抵抗が軽減し刃具寿命向上が図れる可能性はあると思われる。しかしながら上記の結果より、本開発製品に関しては製品精度を確保する事

が困難であり、リーマ加工による仕上方法に特化して開発を継続して行く事とする。

2 - 8 工具磨耗における寸法補正の自動化の研究開発

純鉄の加工の特徴として刃具の初期磨耗が非常に激しい。製品の寸法は数十 μm と非常に精密である。切削加工完了後、熱処理工程を行うことで熱歪みにより製品寸法が径で最大で5 μm 程度変化する事が分っている。量産加工を行う上で、Cpk1.33以上が必要になるが、熱処理の熱歪による寸法変化はバラツキがあり完成寸法でCpk1.33を確保するためには切削で一桁 μm に寸法管理する必要がある。

2 - 8 - 1 加工方法

ツバ径および軸径の加工は同チャックにて加工する。端面から加工して一筆書きでツバ径まで刃具を走らせる。一般的に一筆書きでNCプログラムを走らせた場合、管理公差の厳しい軸部を管理して補正を入れていく。これは刃物の磨耗量が一定のため、ある一部の寸法が変化したら、同じプログラムで走っている箇所も同じ様に変わると考える為である。今回の研究対象の製品はツバ径と軸径は同じ管理公差のため、測定のやり易さから軸径を管理する事を考えた。しかしながら、ツバ径の寸法変化と軸径の磨耗量に差があるためツバ径の寸法マイナスが多発している事が分った。

加工開始後10個までは軸径とツバ径の寸法変化量は追従しているが、それ以降は軸径の寸法変化量が大きくなり、およそ7 μm 程度寸法に差が出てくる。前述したとおり管理寸法が一桁 μm であり、一筆加工での管理するためには2 μm での寸法管理が必要になり量産加工に於いては管理が出来ない。そこで軸径とツバ径を別物の刃具で加工して寸法を管理していく事にした。

2 - 8 - 2 寸法変位量の確認

連続100個加工を5回行い、ツバ径、軸径、内径がどのように寸法が変位するか確認した。チップの状態により寸法の変化量に若干のバラツキがあるが、寸法変化量の傾向は殆ど同じ事が分る。また、連続100個の加工の中で数回設備トラブルによる停止時間が発生している。停止時間は最大でも10分程度であり、そのポイントでは寸法が急激に変化している。この事から設備が停止すると寸法が大きく変化するため、注意が必要である。

また上記の結果より、加工開始後10個までは初期磨耗が非常に激しく、そこから30個程度まで初期磨耗が続く事が分かる。

2 - 8 - 3 初期磨耗の管理について

上記の結果より刃物交換時に寸法の変化が大きすぎるために管理が困難で量産加工を行うのは非常に難しい。一般的に管理公差の厳しい製品には全数寸法を自動測定し、一定量の磨耗が測定された時点で補正を入れる自動補正装置を使用する。

しかしながら、本研究対象の製品は管理公差が一桁 μm であり特に刃具交換直後の初期磨耗に於いては、製品1個を加工する毎に1 μm 寸法変化がある。自動測定装置では、製品を加工している部分に補正を入れても、機械の中には既に加工済みの3つの製品が存在し、この時には寸法変化が進んでいると考えられるので、正しい補正值

を製品に与えてあげる事が出来ない。そこで、刃具の寸法変化を予め予測して定量間隔で定量補正を入れる自動プログラムを作成した。ツバ径、軸径、内径の連続 100 個加工データの平均値と、寸法変化量を 3 段階に分類した近似直線を導きだした。刃具交換から 10 個目までと第 1 次磨耗、更に 30 個までを第 2 次磨耗、それ以降を第 3 次磨耗として近似式を求め、それを自動補正プログラムに反映させた。

2 - 8 - 4 自動補正プログラム反映結果

初期磨耗による寸法変位は自動補正プログラムを導入する事で緩和出来る事が分った。しかしながらチップの仕上がり具合により寸法変化量にバラツキがあり、量産加工を行う上で製品を抜き取って補正を入れる作業を行う必要がある。

2 - 8 - 5 作業の簡略化

一般的に、ツバ径、軸径、内径を一桁 μm で管理する場合、測定具を使用する。しかしながら、それぞれの測定具を使って寸法を測定すると、15 秒の測定時間が掛かってしまう。管理寸法が一桁 μm と厳しいため、量産加工を考えると測定の簡略化が必要になってくる。そこで 3 つの寸法が同時に測れる治具を設計・開発しそれをエアーマイクロに繋げる事で、測定の簡略化を計った。

このエアーマイクロ導入により、寸法測定時間が 15 秒から 2 秒へ簡略化できた。測定分解能についてもエアーマイクロは $0.5 \mu\text{m}$ まで測定できるため、通常の測定具と同等の精度で測定する事が出来る。

量産化にむけ寸法補正入力の簡略化も必要になる。通常の NC 旋盤での寸法補正は決められた刃具の移動軸に対して、補正したい入力を操作盤に付属してあるキーボードを使用して入力する。今回の研究開発品については前述の通りツバ径と軸径、内径を管理する。補正入力を簡略化する為に、管理する 3 つの寸法について定量補正ボタンを設計・開発した。これによりムダなキーボード操作が不要になり、1 回補正を入れる時間が 7 秒から 1 秒へ改善された。定量補正ボタンの補正量はプログラム上で任意に変える事が出来る。

2 - 8 - 6 まとめ

純鉄加工において、初期磨耗の管理が一番難しいポイントであるが自動補正プログラムおよび定量補正ボタンを設計・開発した事で量産化に向けて大きな効果があると思われる。オペレーターの作業を出来るだけ簡略化し厳しい管理公差でも誰でも簡単に作業できる環境を今後も構築していく。今後の課題としては、自動補正プログラムを活用してもチップ交換時に寸法管理を慎重に行うことは継続していかないとはいけないため、刃具の命数向上を早急に進めていく。