

CoCrMo合金のエンドミル側面切削加工特性に関する研究*

大石 敦彦**、和合 健***

人工関節用材料の機械加工技術蓄積を目的として、CoCrMo合金におけるエンドミル側面加工時の切削抵抗評価を行った。その結果、相対的に、CoCrMo合金がS45Cより切削抵抗が大きいことがわかった。特に、法線分力と軸方向分力に大きな違いが見られた。また、加工面の精度には接線分力の影響が大きく、形状精度と相関関係があることがわかった。

キーワード：CoCrMo合金、エンドミル加工

Study on Milling Characteristic of CoCrMo Alloy

OISHI Atsuhiko, WAGO Takeshi

This experiment was performed in order to accumulate for manufacturing technology of a total hip prosthesis and performed cut resistance evaluation at the time of end mill side processing in a CoCrMo alloy. As a result, a CoCrMo alloy relatively understood that cut resistance was big than S45C. A big difference was seen in particular in a normal component force and an axial direction component force. In addition, shape precision of processing side was influenced from force of tangent line component, so it found out that to correlate between processing force and shape precision.

key words : CoCrMo alloy, endmill side processing

1 緒言

CoCrMo合金は、強度、耐食性、耐摩耗性に優れた性質を有する材料である。その特徴を生かし、生体組織と接触して使用される材料（生体材料）としての利用が進みつつある。人工関節や人工歯根、整形用体内固定材など医療用デバイスに使用すべく開発が進められ、一部実用化されている。また、更なる高機能化、高生体適合化をねらった新材料 Ni レス CoCrMo合金が岩手大学工学部千葉研究室にて開発中である。

ここでは、岩手大学工学部千葉研究室と、産学官連携のもと、人工関節用新材料 Ni レス CoCrMo合金の機械加工技術開発について取り組んだ。CoCrMo合金の成分と機械的性質を表1に示す。本材料は、コバルト（Co）とクロム（Cr）を主成分としており、非常に切削が困難である材料と予想される。CoCrMo合金は、全く加工経験のない材料であり、一般的にも、切削データは無く加工実験により求める必要がある。本報告は、エンドミルの側面切削加工において切り込み量(mm)と一刃あたりの送り量(mm/tooth、以下送り量という)が及ぼす切削抵抗(N)と加工精度(mm)の関係について明らかにした。

2 実験方法

実験方法を図1に示す。25×25×100mmのブロック形状のテストピースを#40立型マシニングセンター（三井精機VS3A）上で外径φ10のエンドミルにより、各加

表1 供試合金の化学成分と機械的性質

【成分】 (wt%)

| | |
|----|------|
| Cr | 29 |
| Mo | 6 |
| Ni | 0.02 |
| Co | bal |

【機械的性質】

| | |
|--------------|------|
| 引張強さ (MPa) | 1100 |
| ビッカース硬さ (HV) | 400 |
| 比重 | 8.5 |
| 伸び (%) | 5 |

工条件を変えて加工実験をおこなった。各加工条件を表2に示す。評価は、切削加工時に工具が受ける反力（以下、切削抵抗という）と形状精度、面粗度にて実施した。切削抵抗は、テストピースとマシニングセンターのテーブルの間に設置された3成分切削動力計（9257Bキスラー社製）にて測定を行った。動力計の信号は、チャージアンプを介し、データレコーダ（RX808WB、TEAC社製）にて記録し、波形解析ソフトDADiSPにて解析を行った。

3 実験結果

3-1 切り込み量と切削抵抗

図2にエンドミル2次元加工モデルを示す。エンド

* 技術者受入型開発支援事業

** (株)ミクニ

*** 電子機械技術部

表2 実験条件

| | |
|------------------------------|---|
| テストピース (3種類) | <ul style="list-style-type: none"> • CoCrMo 合金 JIS 相当品 • CoCrMo 合金 Ni レス品 • S45C |
| 工具径(mm) | φ10 |
| 工具種類 | 4枚刃超硬エンドミル TiAlN コーティング ねじれ角 45° |
| 工具突き出し長 (mm) | 35 |
| 径方向 切り込み量 ar (mm) | 0.2, 0.5, 1 |
| 軸方向 切り込み量 aa (mm) | 5 |
| 工具1刃あたり 送り量 Sz (mm/tooth) | 0.05, 0.1, 0.15 |
| 切削速度 V (m/min) | 50 |
| 切削方式 | ダウンカット |
| 冷却方式 | 水溶性切削油 |

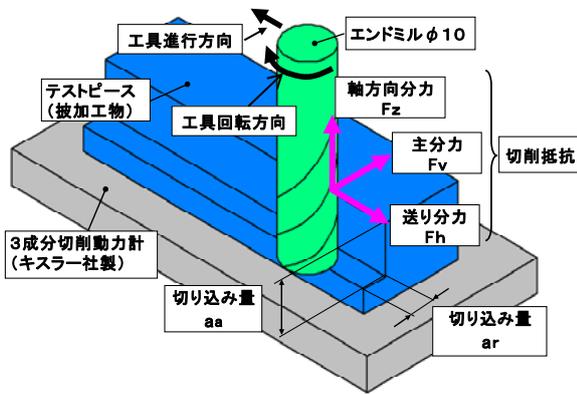


図1 実験方法

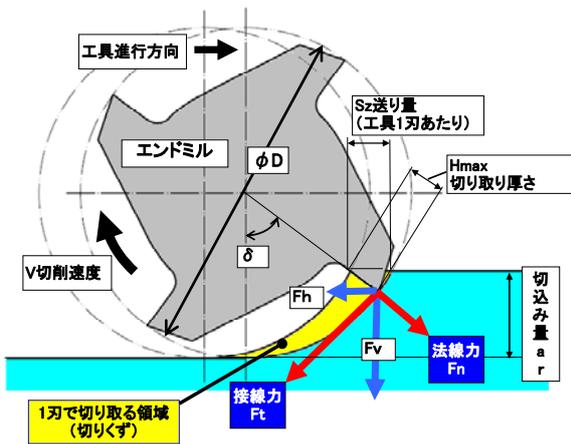


図2 エンドミル2次元加工モデル

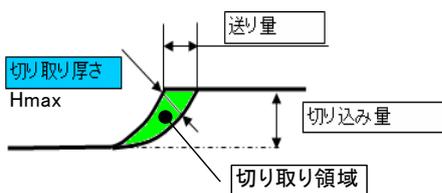


図3 切り取り厚さの説明

ミル加工とは、エンドミルの刃先が被加工物に進入し、切りくずを除去されることによって行われる。切りくずを除去するという仕事は、刃先の移動量と接線分力により行われる。ここで切り取り厚さとは図3のとおりエンドミル1刃が切り取る材料の一番厚い部分の長さ(mm)とする。接線分力は、除去される切りくずの切り取り厚さに依存し、切り取り厚さが最大値Hmaxとなるとこで接線分力も最大値となると考えられる。このとき、3分力切削動力計にて測定される3分力(Fh,Fv,Fz)も最大値となる。そこで、3分力切削動力計にて測定された分力Fh,Fvの最大値より、接線分力Ftと法線分力Fnの最大値を(1)式より算出した¹⁾。

$$\left. \begin{aligned} F_n &= F_v \times \cos \delta - F_h \times \sin \delta \\ F_t &= F_v \times \sin \delta + F_h \times \cos \delta \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\delta = \cos^{-1} \frac{D/2 - ar}{D/2}$$

図4に、切り込み量、送り量と法線分力Fn、接線分力Ft、軸方向分力Fzの関係を示す。接線分力Ftは、3分力の中で一番大きな値を示し、切り込み量が大きくなるに従い比例的に大きくなり、送り量が大きくなるとその傾きが大きくなることがわかった。軸方向分力Fzについても同様な傾向を示すが、力の大きさは接線分力の40%程度低い値となっている。法線分力は、切り込み量、送り量に対する変化は小さく、ほぼ一定値を示すことがわかった。CoCrMo合金のJIS相当品と新材料Niレス品の比較では、法線分力については、10%程度Niレス品が大きい値を示すが、接線分力、軸方向分力については、大きな差がないことがわかった。

代表的な鉄系材料S45Cと比較するとCoCrMo合金のほうが、法線分力：約1.5~2倍、接線分力：約1.2倍、軸方向分力：約2~2.2倍程度大きい値を示した。相対的に、CoCrMo合金のほうが大きい切削抵抗となった。特に軸方向分力は、切り込み量、送り量に対する傾きに大きな違いが見られた。軸方向分力は、工具を引き抜く方向、被加工物を持ち上げる方向に力がかかるので、被加工物のクランプや工具の保持方法には、注意が必要である。図5に切り取り厚さの最大値Hmaxと法線分力Fn、接線分力Ftの関係を示す。切り取り厚さの最大値Hmaxは、式(2)にて算出した¹⁾。

$$H_{max} = S_z \times \sin \delta \quad (2)$$

接線分力と切り取り厚さは、正比例関係となっている。CoCrMo合金とS45Cは同様な傾向となった。接線分力は、切り取り厚さに依存しており、切り取り厚さが同一であれば、送り量、切り込み量による差はないと予想した。しかし、実際には、同一切り取り厚さでも送り量が大きいほど接線分力が小さくなる傾向が示された。法

CoCrMo 合金のエンドミル側面切削加工特性に関する研究

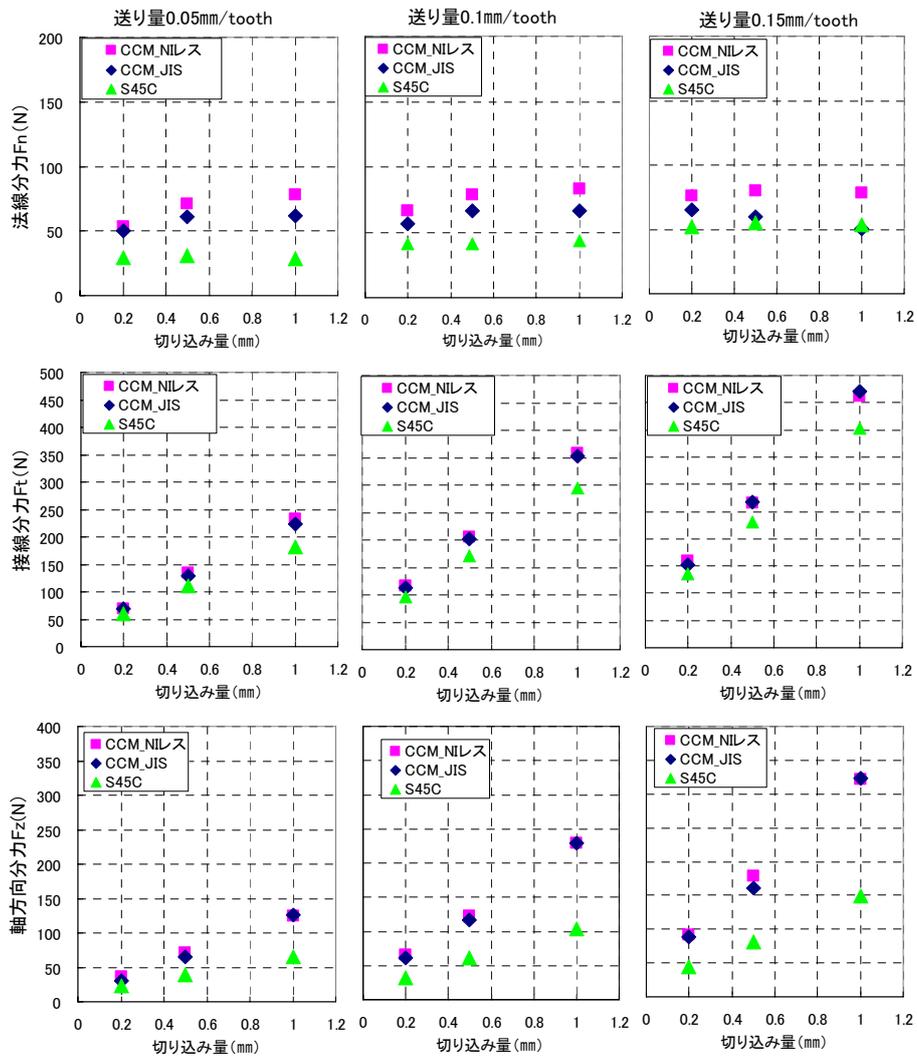


図4 送り量、送り量と切削抵抗

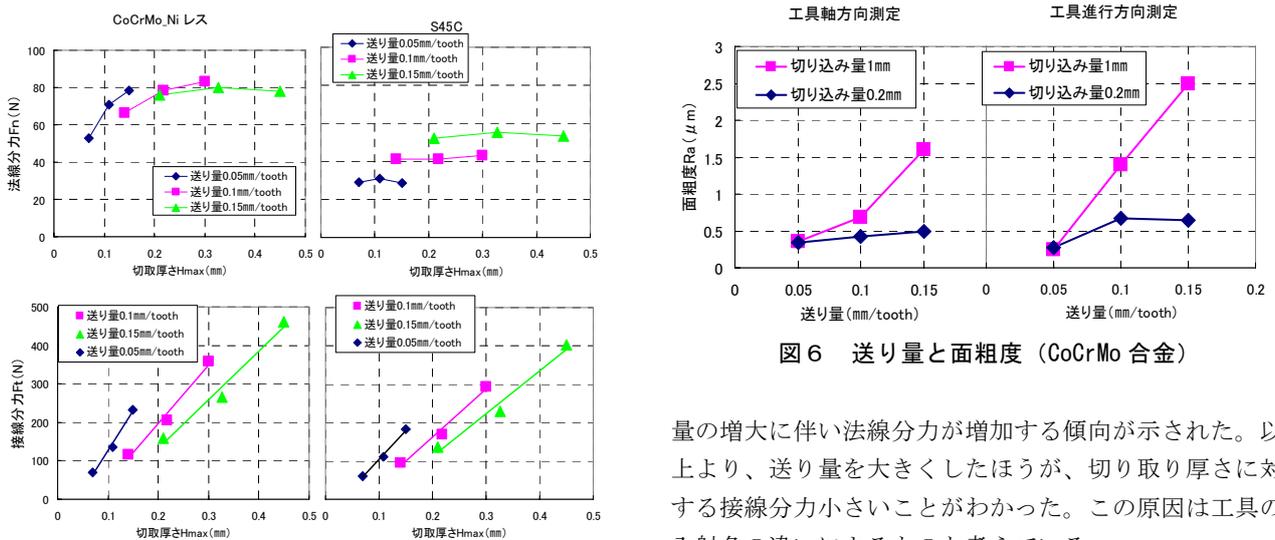


図5 切取り厚さと法線分力、接線分力

図6 送り量と面粗度 (CoCrMo 合金)

線分力と切取り厚さは、CoCrMo 合金と S45C で違う傾向が示された。CoCrMo 合金では、切取り厚さ 0.2mm 程度からほぼ一定の値を示すが、S45C は、送り

量の増大に伴い法線分力が増加する傾向が示された。以上より、送り量を大きくしたほうが、切取り厚さに対する接線分力小さいことがわかった。この原因は工具の入射角の違いによるものと考えている。

3-2 切取り量、送り量と加工精度

CoCrMo 合金の送り量に対する工具軸方向及び工具進行方向の面粗度測定結果を図6に示す。理論的には、面粗度は、工具径と送り量で決まる。しかし、本実験では、送り量 0.1mm/tooth 以上となると切取り量 0.2mm と

1 mm で面粗度に違いが見られた。切り込み量 1 mm のほうが、送り量に対して面粗度が大きく変化することがわかった。また、工具進行方向のみならず、工具軸方向についても、同様の傾向となった。これは、送り量増大に伴う、切削抵抗の増大により工具や被加工物のびり振動が面粗度に影響を与えているものと考えられる。図7に、加工面の拡大画像を示す。切り込み量 0.2mm では、送り量の増大に伴いカッターマークの巾が大きくなっているのがわかる。切り込み量 1 mm では、送り量 0.1mm/tooth 以上になると、工具先端加工面に工具びり振動が原因と思われる傷が発生した。図8に、送り 0.05, 0.1mm/tooth における加工面形状を測定した結果を示す。切り込み量 1 mm では、工具先端部で実加工量が減少し、加工寸法誤差が大きくなっている。これは、切り込み量の増大に伴い、切削抵抗が増大し工具先端に逃げが生じたためである。切削抵抗と加工寸法誤差の関係を図9に示す。法線分力と加工寸法誤差の間には、相関が見られない。接線分力と加工寸法誤差は、比例的な関

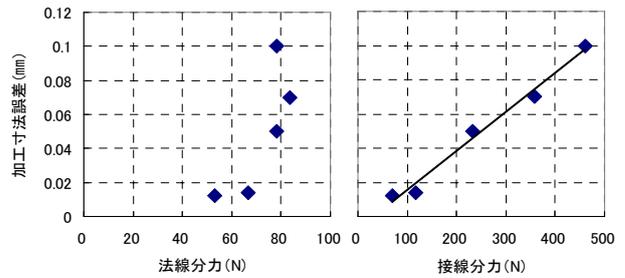


図9 切削抵抗と加工寸法誤差



図10 人工股関節 試作品

係にあり、正の相関関係にあることがわかった。よって、加工寸法誤差は、接線分力に依存しており加工精度の良い加工面を得るには、できるだけ接線分力を小さくする必要がある。

4 結 言

今回の実験より以下のことがわかった。

- 1) CoCrMo 合金の切削抵抗は、S45C と比較して法線分力：約 1.5~2 倍、接線分力：約 1.2 倍、軸方向分力：約 2~2.2 倍程度大きい値を示す。
- 2) CoCrMo 合金の JIS 相当品と新材料 Ni レス品の比較では、法線分力については、10%程度 Ni レス品が大きい値を示すが、接線分力、軸方向分力については、大きな差がない。
- 3) 送り量を大きくしたほうが、切り取り厚さに対する接線分力は小さい。
- 4) 切り込み量 0.2mm では、送り量に対して加工面の面粗度変化が小さく有利である。
- 5) 加工面の工具の逃げによる寸法誤差は、接線分力と正の相関関係にある。加工精度の良い加工面を得るには、できるだけ接線分力を小さくする必要がある。
- 6) 3) ~5) より、エンドミル側面切削は、切り込み量を小さくして、送り量を大きくしたほうが、加工精度と効率のバランスがとれた条件となる。

今回の実験により得られた内容は、ある程度経験のある加工実務者であれば周知の内容である。しかし、加工熟練者は、経験則により加工条件を決めており、定量的な加工データは皆無である。そこで、CoCrMo 合金という全く加工経験のない材料を加工することもあり、エンドミルの加工を定量的にとらえるべく実験を実施した。

最後に、新材料 Ni レス CoCrMo 合金の人工股関節試作品を図10に示す。3D-CAD/CAM によるエンドミル加工技術と鏡面研削技術により完成させた。

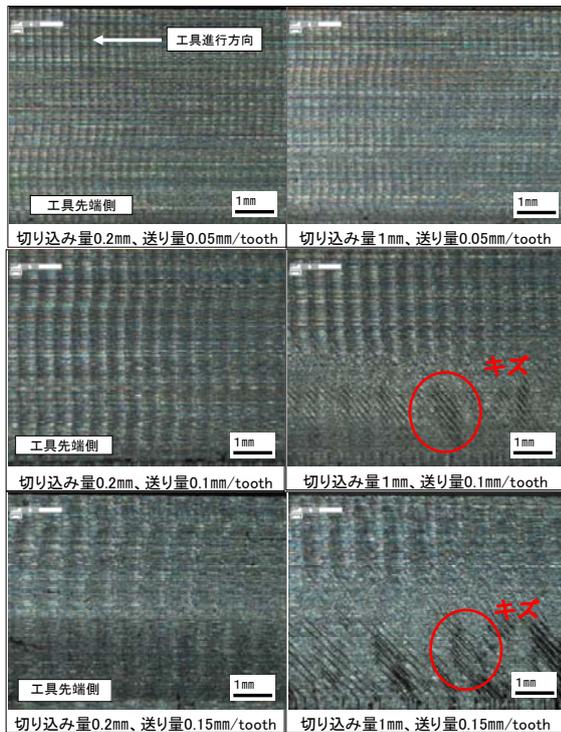


図7 加工面の拡大図

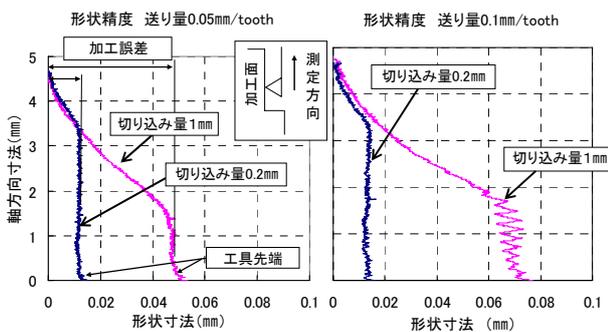


図8 加工面形状測定結果

文 献

- 1) 切削油技術研究会編フライス加工ハンドブック
(1988)