

コバルトクロム合金の効率的な磨き方に関する研究

－ELID研削法を用いたコバルトクロム合金の曲面研削－

小熊広之*

Study on effective grinding of cobalt-chromium alloy

－A curved surface grinding of a cobalt - chrome alloy with ELID－

OGUMA Hiroyuki*

抄録

コバルトクロム合金 (Co-Cr合金) は生体用金属材料として人工股関節の骨頭部や人工関節膝関節の大腿骨コンポーネント等に使用されている。人工関節の置換手術を受ける人は高齢化を背景に年々増加しているが、人工関節、特に人工膝関節は複雑形状を有しているため、仕上げ工程では自動化が難しく、現状では手仕上げで行われており、仕上げ工程の省力化が望まれている。曲面形状を有するCo-Cr合金の表面粗さを向上させることを目的として、ボールノーズ形砥石を使用し、ELID研削法を用いてドレッシングを行い研削したところ、#600の砥石でRa342nmの研削面を得た。

キーワード：ELID研削法，人工関節，Co-Cr合金，鑄鉄ボンドダイヤモンド砥石

1 はじめに

現在、わが国では高齢化社会を迎え、関節リュウマチや変形性関節症などで歩行が困難になってしまう患者が増加している。人工関節置換術は傷んだ関節を人工物に置き換える手術であり、手術を受ける人は年々増えている。しかし人工関節は複雑な曲面形状を有しており製造が難しく、特に仕上げ工程では熟練者が一品一品手仕上げで磨いているのが現状である。そこで、磨き工程の省力化を目的として、曲面形状でも仕上げ研削が行えるよう、ボールノーズ形鑄鉄ボンド砥石を使用し、ELID研削法でドレッシングを行い、曲面形状のCo-Cr合金に対し研削を行うことにより、表面粗さの向上を試みた。

2 研究の目的

人工関節を製造する場合、「精密鑄造→機械加工→磨き」のような工程を得ることが多いが、加工と磨き工程を同一マシニングセンタ上で行うことができれば、精度及び作業時間の短縮という面で有利である。

ELID研削法^{1)～4)}は、鑄鉄ボンド超砥粒砥石に電解インプロセスドレッシングを複合させることにより実現された高品位・高能率研削法である。

ELID研削法を用いて高品位な面を得るためには、ELID研削専用の電解液を用いて

(1)使用する砥石の振れ取りと形状修正を行うためのツルーイング

(2)砥石の目立てのための電解ドレッシングを行う必要がある。しかし、通常、マシニングセンタには加工物に適した切削液が充填されているため、このままではELID研削を行うことができない。

* 生産技術部

そこで、図1のような簡易的に放電ツルーイングと電解ドレッシングが行える装置を作成した。

この装置はプラスチック (HIPS) のケースに電極 (真鍮製) が設置されている。電極は使用するボールノーズ形砥石と同じ形状になるよう、半径5mmのボールエンドミルで溝加工されている。

放電ツルーイングの際は、図2に示すとおり砥石を陽極に、電極を陰極に接続して、ケース内に電解液を充填して、砥石を回転させながら往復運動を行う⁵⁾。

電解ドレッシングは、放電しないように適切な電解条件を設定して電極上で行う。

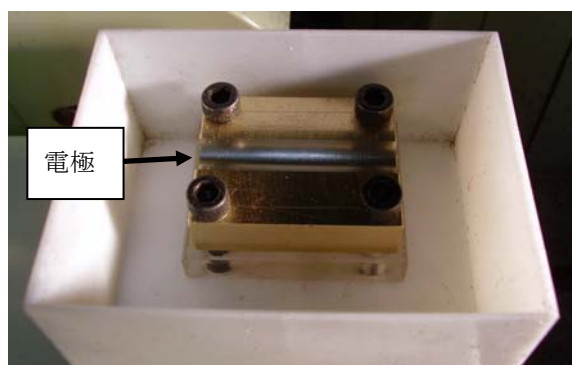


図1 放電ツルーイング装置

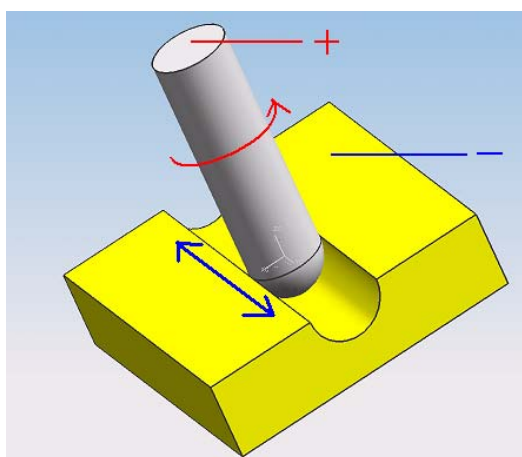


図2 放電ツルーイング概略図

3 実験方法

3.1 放電ツルーイングの効果の検証

表1の条件で放電ツルーイングされた砥石を用いて表2の条件で研削したときの表面粗さを測定することにより、放電ツルーイングが研削面に及

ぼす効果を検証した。また、光学顕微鏡で表面の状態を観察した。なお、研削する際には、表2に示す電解条件で砥石の表面に酸化皮膜が適度に生成するまで電解ドレッシングを行った。その後電解を止め、マシニングセンタに充填されている不水溶性切削液を研削点に供給しながら研削した。

表1 放電ツルーイング条件

| | |
|---------|---|
| 使用砥石 | 鋳鉄ボンドダイヤモンド砥石 (#200,#600) ボールノーズ形状 (R=5mm) 〔富士ダイス㈱〕 |
| 砥石回転数 | 1000rpm |
| 送り速度 | 50mm/min |
| 切込量 | 10 μm ×2 |
| ELID 電源 | FUJI ELIDER 920 〔富士ダイス㈱〕 |
| 設定値 | パルス電圧 90V ピーク電流 20A パルスタイミング τ on/off 2/2ms |
| 電解液 | ノリタケール CEM 〔ノリタケカンパニーリミテド〕 |
| 加工機 | 5軸マシニングセンタ MS5A-300 〔牧野フライス精機㈱〕 |

表2 実験条件

| | |
|---------|--|
| 研削速度 | 40 m/min |
| 送り速度 | 100 mm/min |
| 切込量 | 10 μm ×3 |
| ピックアップ量 | 0.4mm |
| 電解条件 | パルス電圧 60V ピーク電流 10A パルスタイミング τ on/off 2/2ms |
| 研削条件 | 研削点に不水溶性切削液を供給しながら研削した。 |
| 測定機 | 表面粗さ測定機 サーフコム 1400D-3DF 〔㈱東京精密〕 |
| 顕微鏡 | 光学顕微鏡 GX71 〔オリンパス光学工業㈱〕 |

3.2 最適研削条件の検討

最適な研削条件を検証するため、電解ドレッシング終了後、表3に示す条件で研削実験を行い、研削条件と表面粗さとの関係を調べた。

表3 研削条件

| | |
|----------|---------------|
| 研削速度 | 40~140 m/min |
| 送り速度 | 50~200 mm/min |
| 切込量 | 10 μm × 3 |
| バックフィード量 | 0.4mm |

3.3 曲面形状の ELID 研削

図3のような半径 25mmの球面の一部の凹面形状に対し、半径 5mmのボールエンドミルで前加工をしたのち、電解ドレッシングした砥石を用いて表4に示す条件で研削を行い、表面粗さを測定した。

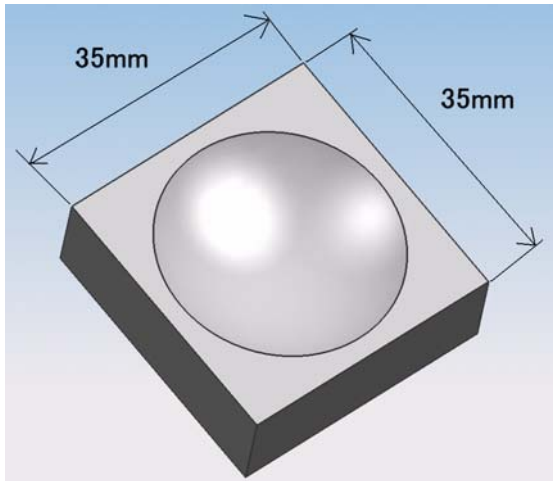


図3 研削形状

表4 実験条件

| | |
|----------|--|
| 砥石回転数 | 16000rpm |
| 送り速度 | 100 mm/min |
| 切込量 | 10 μm × 3 |
| バックフィード量 | 0.2mm (#200) 0.1mm (#600) |
| 測定機 | 三次元輪郭形状測定機 サーフコム 3000A-3DF 〔株東京精密〕 |

4 結果及び考察

4.1 放電ツルーイングの効果の検証

図4に示すとおり 15度の斜面のCo-Cr合金に対し、1方向に研削を行い、送り方向に粗さを測定したときの表面粗さと鏡面の顕微鏡写真を図5~8に示す。#200、#600の砥石ともツルーイングを行わない場合、研削面の凹凸が大きいことがわかる。しかし、ツルーイングを行った砥石で研

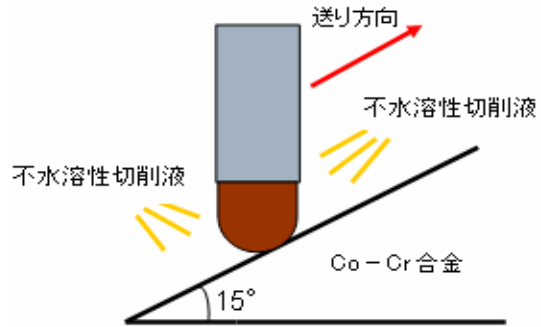


図4 研削方法

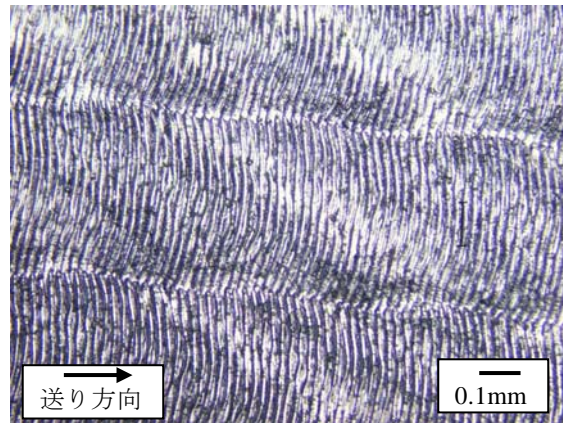


図5 #200 砥石の研削面 (ツルーイング前)
(表面粗さ Ra 684nm)

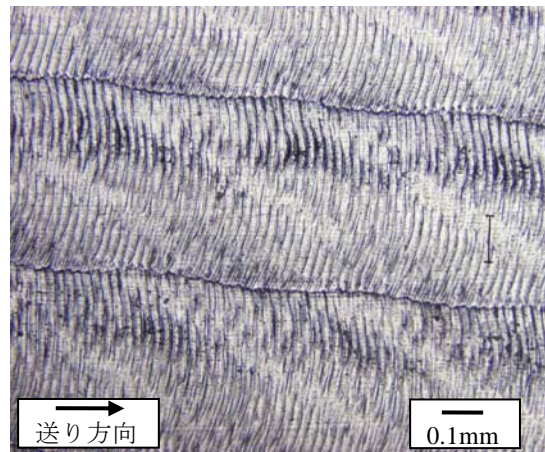


図6 #200 砥石の研削面 (ツルーイング後)
(表面粗さ Ra 311nm)

削すると、かなり凹凸が小さくなっていることが観察された。これは、ツルーイングにより砥石の形状が修正され、砥粒の高さのばらつきが減少した結果、より多くの砥粒が研削に作用したためと考えられる。また、#600 (平均砥粒径 30 μm) よりも、砥粒径の大きい#200 (平均砥粒径 74 μm)

m) の砥石の方が、ツルーイングによる研削面の改善効果が大きいことがわかった。これらの実験結果により、本実験で行った放電ツルーイングは、研削面の向上に効果的であることがわかった。

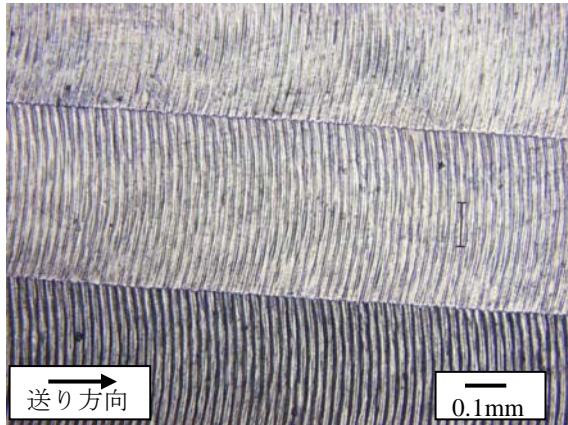


図7 #600 砥石の研削面 (ツルーイング前)
(表面粗さ Ra 137nm)

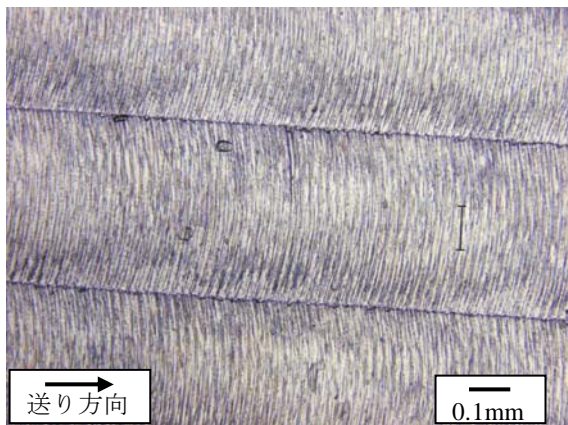


図8 #600 砥石の研削面 (ツルーイング前)
(表面粗さ Ra 115nm)

4.2 最適研削条件の検討

図4に示す15度の斜面のCo-Cr合金に対し、表3の条件で研削した。図9に送り速度を100m/min一定にしたときの研削速度と表面粗さとの関係を示す。#200、#600の砥石とも、研削速度が上昇すると表面粗さが向上していることがわかる。しかし、研削速度が140m/minのときは、粗さが少し悪くなっている。これは、主軸が高回転になったため、切削液がミスト状になってしまい研削点に十分に届かず、切り屑の除去が不

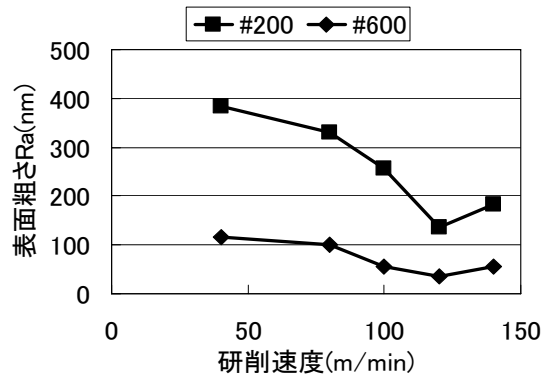


図9 切削速度と表面粗さ
(送り速度：100mm/min)

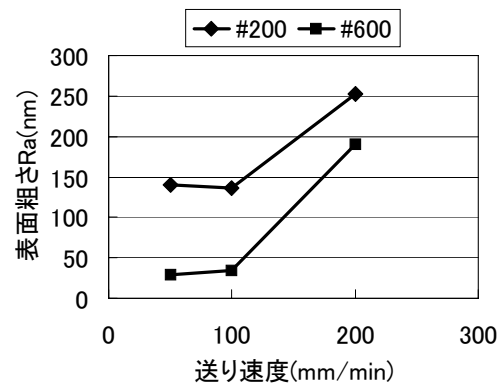


図10 送り速度と表面粗さ
(切削速度：120m/min)

十分だったため、切り屑が研削面を傷つけてしまったことが原因ではないかと考える。図10に送り速度と表面粗さとの関係を示す。このときの研削速度は、図9の結果で最も表面粗さが良かった120m/minとした。この結果より、#200、#600の砥石とも、50、100mm/minのときは表面粗さに大きな違いは見られないが、200mm/minになると、粗さが悪化してしまうことがわかった。

4.3 曲面形状のELID研削

図3に示す形状を表4の条件でELID研削したときの研削面を図11に示す。表面粗さ測定機を用いて図12に示す3箇所を測定したところ、測定結果は表5のとおりとなった。測定位置①の表面粗さが最も悪かった。この位置はボールノーズ砥石の中心付近で研削しなければならず、研削速度が上がらなかったため粗さの値が大きくなった

と考えられる。今後、更に表面粗さを向上させるためには、

- (1) 5軸加工機の機能を活かし、曲面上のどの位置についても一定速度で研削できるよう、加工方法を見直す。
- (2) #4000の砥石等、より微細な砥粒の砥石を使用する。

等の手段を用いることが必要であると考えます。



図11 ELID研削したCo-Cr合金の曲面

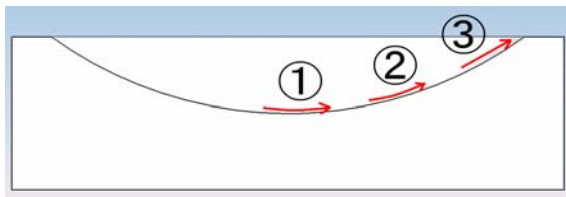


図12 表面粗さ測定位置

表5 表面粗さ

| 測定位置 | 表面粗さ (Ra) |
|------|-------------------|
| ① | 730 μm |
| ② | 342 μm |
| ③ | 376 μm |

5 まとめ

簡易的に放電ツルーイング・電解ドレッシングが行える装置を作成し、その効果を検証したところ、以下のことがわかった。

(1) 放電ツルーイング

放電ツルーイング前後の表面粗さを比較したところ、#200の砥石ではRa684nmからRa311nmに、#600の砥石ではRa137nmからRa115nmに向上した。このことから、放電ツルーイングが適正に行われ、表面粗さが向上したことがわかった。

(2) 間欠電解ドレッシング

本装置で電解ドレッシングを行ったのち、不溶性切削液を供給しながら15度斜面のCo-Cr合金を研削したところ、研削速度120m/min、送り速度100mm/minのとき、表面粗さが#200の砥石でRa136nm、#600の砥石でRa35nmとなった。このことから間欠的な電解ドレッシング方式でも良好な研削面が得られることがわかった。

(3) 曲面形状の研削

曲面形状のCo-Cr合金を研削したところ、中心部でRa730nm、外周部でRa342nm、Ra376nmの研削面が得られた。

今後は、これらの成果を活用し、最終仕上げ工程の省力化に貢献できるよう更に研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer with Electrolytic In-process Dressing, Annals of the CIRP, **39**, 1(1990) 329-332
- 2) 大森 整 : 超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング(ELID)研削法, 精密工学会誌, **59**, 9(1993) 1451-1457
- 3) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials By ELID (Electrolytic In-process Dressing) Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels, Annals of the CIRP, **44**, 1(1995) 287-290
- 4) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Utilization of Nonlinear Conditions in Precision Grinding with ELID (Electrolytic In-process Dressing) for Fabrication of Hard Material Components, Annals of the CIRP, **46**, 1(1997) 261-264
- 5) 島崎景正、南部洋平: 自由曲面を有する金型の効率的な磨き方の研究, 埼玉県工業技術センター研究報告, **4** (2002) 256-259