

電解インプロセスドレッシングを援用した超仕上加工

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16084

氏 名	坂 本 智
生 年 月 日	
本 籍	熊本県
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第214号
学 位 授 与 の 日 付	平成9年3月25日
学 位 授 与 の 要 件	課程博士（学位規則第4条第1項）
学 位 授 与 の 題 目	電解インプロセスドレッシングを援用した超仕上加工
論 文 審 査 委 員	（主査） 上 田 隆 司 （副査） 杉 田 忠 彰, 黒 部 利 次 北 川 正 義, 米 山 猛

学位論文要旨

Abstract

Superfinishing is one of the effective machining to obtain the high precision surface in a short time. Application of electrolytic in-process dressing to the superfinishing is investigated in order to achieve the higher efficient finishing without any machining damages.

The results obtained are summarized as follows:

- (1) In the finishing of ceramics, using finer grain under lower stone pressure makes it possible to remove the workpiece as chips by plastic deformation and decrease the machining damage on the surface.
- (2) Electrolytic in-process dressing makes it possible to use the coolant of water-solution in superfinishing. This dressing method is more effective for the finer stone.
- (3) Cutting ability of a stone can be controlled by changing the strength of electrolytic dressing. There are two effective factors to change the electrolytic dressing ability; One is the operating time of electrolysis and the other is the ratio of on-time in electric pulse. The cutting ability of a stone which has been lost in finishing operation can be regenerated again applying the strong electrolysis. This technique makes it possible for the same kind of stone to finish the several work materials which have the different machinability.
- (4) The finishing performances intended in stock removal and surface roughness are achieved by the application of fuzzy control to the electrolytic in-process dressing.

1. 緒 言

近年, 身近な小型電子機器から, 半導体パターン形成, レーザ機器開発, さらにはX線光学素子のグレーティング等に対する超精密表面加工技術が要求されてきており, 仕上面粗さだけではなく, 加工表面に損傷を与えない精密加工が望まれるようになってきている. 現在では遊離砥粒を用いたラッピングやポリッシングがこのような要求に応えているが, 遊離砥粒を用いた加工法では加工速度が非常に遅いという欠点を持っている.

超仕上加工は極めて短時間で, 加工変質層の少ない平滑な仕上面を得ることができる優れた精密加工法の一つである. このような超仕上加工に電解インプロセスドレッシング(以下電解ドレッシング) およびファジィ制御の手法を適用することによって加工特性をコントロールし, ラッピングやポリッシングに代わる新しい加工法の確立を試みた.

2. 加工特性の評価方法

加工状態の評価方法として砥石を巨視的に一つの工具とみなし, 評価関数 $\bar{d}$, k_s の導出を行った. $\bar{d}$ は砥石の平均的な切込み深さを表わしており, $\bar{d}$ の値の大小により加工条件の過酷さ, 砥石の切れ味, 加工材料の被削性などを判定できる. $\bar{d}$ の値が大きければ, それは加工が能率良く行われていることを示しており, 逆に $\bar{d}$ が小さければ, 加工能率が低いことを示していることとなる. k_s は単位体積を加工するのに要するエネルギーを表しており, k_s の大小により加工効率を判断できる. 式 (1), (2) に円筒超仕上における $\bar{d}$, k_s を示す.

$$\bar{d} = \frac{\pi^2 DB}{V_w} \left\{ \pi l - 2a \cos \left(\sin^{-1} \frac{\varepsilon}{a} \right) + \varepsilon \left(\pi - 2 \sin^{-1} \frac{\varepsilon}{a} \right) \right\}^{-1} \frac{d(\delta R)}{d\tau} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{2F_t V_w}{\pi^2 DB} (1 + K^2)^{1/2} E(k) \frac{1}{\frac{d(\delta R)}{d\tau}} \quad (2)$$

ここで $\bar{d}$: 砥石平均切り込み深さ, D : 加工物直径, B : 加工物幅, V_w : 加工物回転速度, l : 砥石長さ, a : 砥石振幅, ε : $(B-l)/2$, $d(\delta R)/d\tau$: 加工物半径減少速度, k_s : 比加工エネルギー, F_t : 接線方向分力, K : $a\omega/V_w$, ω : 砥石の角振動数 ($=2\pi n$), k^2 : $K^2/(1+K^2)$, E : 第2種楕円積分

この様に評価関数 $\bar{d}$, k_s には全ての加工条件が含まれていることから, 異なる加工条件で行った実験結果を同一レベルで評価することが可能となる.

3. 加工表面損傷の曲げ強さへの影響

砥粒径の小さな砥石を用いる超仕上加工も切りくずを生成する加工である以上, 加工表面に何らかの損傷を与えるものと考えられる. そこで, 超仕上加工が仕上面に与える損傷の程度について, その曲げ強さを測定することにより調べた. 角柱状加工物に平面超仕上を施

4. 電解ドレッシングの超仕上への適用

4. 1 電解ドレッシング

Figure 1 is a graph showing the relationship between grain size (Grain size #) and yield strength (σ in MPa) for Al_2O_3 and Ferrite. The graph includes data points for Grinding (Al_2O_3), Superfinishing (Al_2O_3), and Superfinishing (Ferrite) at different pressures.

The legend indicates:

- Grinding (Al_2O_3)
- Superfinishing (Al_2O_3 , $P_n = 1.83\text{MPa}$)
- Superfinishing (Ferrite, $P_n = 1.00\text{MPa}$)

The graph shows two curves: one for Al_2O_3 (upper curve) and one for Ferrite (lower curve). The yield strength (σ) increases with grain size for Al_2O_3 and decreases for Ferrite. The data points are labeled with grain size numbers (#150, #1000, #2000, #4000, #8000).

Grain size #	Material	Yield strength σ (MPa)
#150	Al_2O_3 (Grinding)	~100
#1000	Al_2O_3 (Superfinishing)	~300
#2000	Al_2O_3 (Superfinishing)	~350
#4000	Al_2O_3 (Superfinishing)	~380
#8000	Al_2O_3 (Superfinishing)	~450
#1000	Ferrite (Superfinishing)	~100
#2000	Ferrite (Superfinishing)	~150
#4000	Ferrite (Superfinishing)	~180

The diagram illustrates the Electrolytic in-process dressing (EID) process. On the left, a power supply is connected to an electrode (-) and a workpiece (+). The workpiece is submerged in a coolant. The workpiece is labeled with 'Cu base bond' and 'Grain'. An arrow points to the right, showing the workpiece after the process, with 'Oxides' being removed from the surface.

電解ドレッシングを施すことにより、砥石作業面は後退し、電極とのギャップが変化する。

る。ギャップが変化すると、電解強度が変化するため安定したドレッシングを継続して行うことが困難となる。そこでファラデーの法則をもとに導出された電解加工の理論式を応用して電解速度 v_e およびギャップ y の時間的変化を理論的に調べた。図3に電解時間と砥石溶出速度との関係の一例を示す。砥石に青銅系メタルボンドダイヤモンド砥石を用い、加工液にはソリュブルタイプの研削液を用いた場合である。図より1000秒程度までは電解速度 v_e およびギャップ y の時間的変化は小さく、安定した電解ドレッシング効果が期待できる。

4. 2 実験結果

図4に電解ドレッシングの効果を示す。図より水溶性加工液を用いても電解ドレッシングを併用することにより安定した加工が持続できることが分かる。図5に一般に超仕上加工で用いられる油性加工液との加工性能の比較を示す。電解ドレッシングを併用することにより油性加工液の代わりに水溶性加工液を用いることが可能であることが分かる。水溶性加工液を用いることにより次のような利点もある。研削加工など他の加工法では水溶性加工液を用いる場合が多いため、油性加工液を用いる超仕上を加工ラインに組む場合、加工前

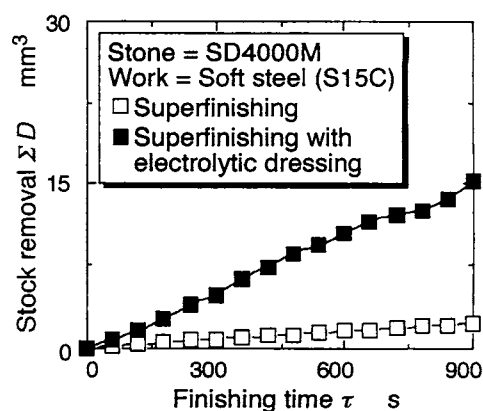


Fig. 4 Effect of electrolytic in-process dressing

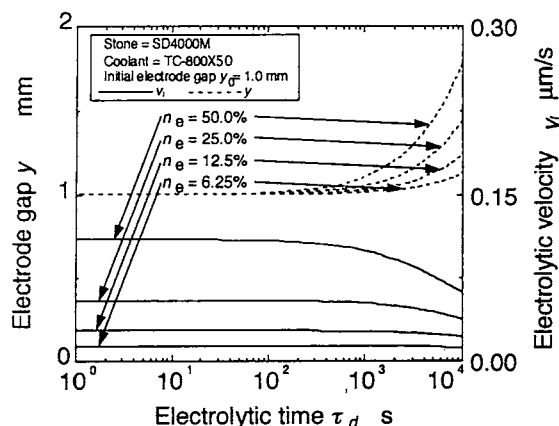


Fig. 3 Relation between electrolytic time and velocity of dissolution of stone

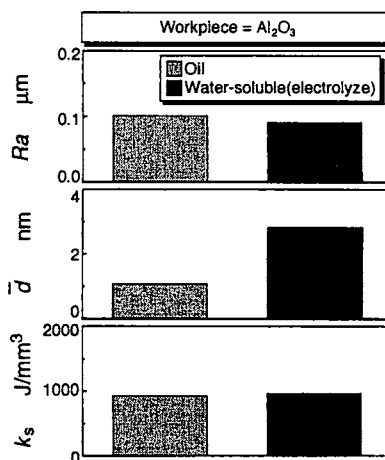


Fig. 5 Influence of coolant type on finishing performance

に水溶性加工液の洗浄・乾燥を行う必要が生じる。超仕上に水溶性加工液を用いればこのような工程を省くことができ、加工ラインの簡素化が可能となる。また、加工液を1種類に統一することも可能となり、その管理を極めて単純化できる。

5. 砥石の切れ味制御

砥石の切れ味を制御しながら加工を行う方法について実験的に検討を行った。超仕上で

は、一般に生産性に重点を置く場合、耐磨耗性が高く、長寿命のダイヤモンド砥石が使用される。このようなダイヤモンド砥石は材料が多種類におよぶとき、砥粒保持力の異なる砥石を多数用意する必要がある。ところが砥石の自生作用をコントロールすることにより、任意の切れ味を持たせることができれば、わずかな種類の砥石で広い範囲の加工材料をカバーできる可能性もある。さらに一つの砥石で粗加工から仕上加工までを行うことができる期待も持てる。図6にオンタイムの比率 n_e による砥石の切れ味制御の一例を示す。電気量をコントロールすることにより、種々の加工状態を意図的に作り出すことに成功している。また、目づまり等により切れ味を失った砥石でも電解インプロセスドレッシングを行うことにより、加工を中断することなく加工当初の切れ味に回復することができることが分かった。さらに、他の加工物に対しても実験を行った結果、砥石の切れ味をコントロールすれば、被削性の異なる種々の加工物を同一砥石で加工できる可能性も十分あることを示した。

6. 切削性能のファジィ制御

超仕上では加工抵抗（接線方向分力）の大小により切削性能の良否が判断できる。すなわち加工抵抗が大きい時、砥石の切削性能は優れていると判断できる。そこで加工抵抗を加工状態の監視信号として、超仕上にファジィ制御の適用を試みた。図7に制御範囲の一例を示す。この範囲内で加工量・仕上面品位の制御が可能である。本実験では加工時間入力型制御（Process A）、加工目標値入力型制御（Process B）の2通りの制御の可能性を調べた。図8にProcess Aでの加工抵抗の一例を示す。加工最初に加工抵抗が大きく、多く

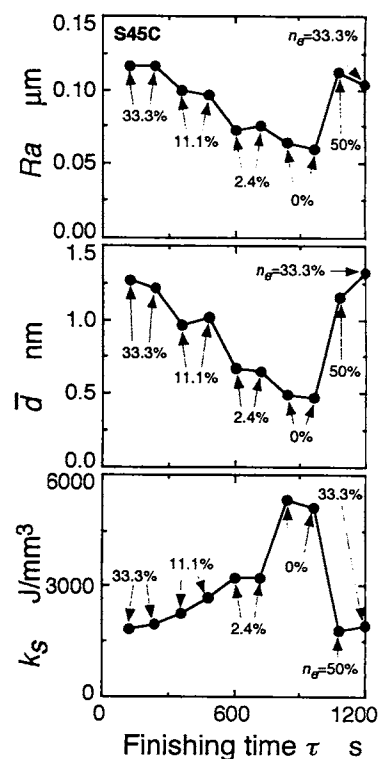


Fig. 6 Effect of percentage of on-time n_e

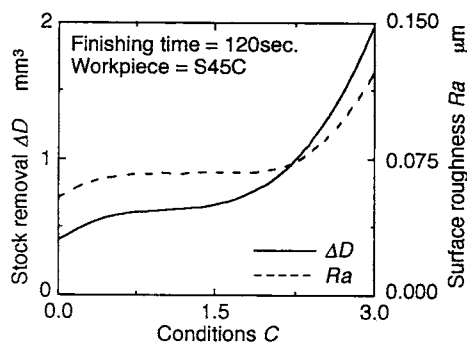


Fig. 7 Range of fuzzy control

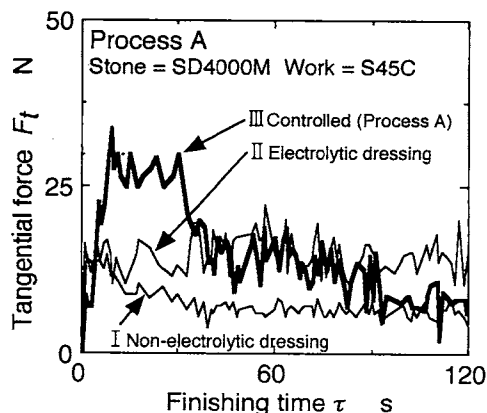


Fig. 8 Comparison of finishing resistance

の加工量を得ている。後半では良好な仕上面粗さを得るように砥石の切れ味が制御されているのがわかる。Process A では多くの加工量を得ながらも、より良好な仕上面を得るといった相反する要求に応えることが可能となった。また Process B では要求した加工量・仕上面品位に到達するよう、加工特性をコントロールすることができた。さらに、Process B で連続加工への対応も試みた。その結果、同一加工量・仕上面品位の加工を連続して行った場合でも、連続的な加工サイクルを実現させることが可能であることがわかった。これらの結果からファジィ制御により加工特性をコントロールすることによって金型のような加工表面の大きな部材へも容易に対応可能であることを明らかにした。

7. 結 言

超仕上加工に電解インプロセスドレッシングおよびファジィ制御の手法を適用することによって加工特性を自在にコントロールする手法を確立することができた。これにより、ラッピングやポリッシングに代わる新しい加工法の確立が十分可能であることがわかった。また、電解ドレッシングの適用により油性加工液の代わりに水溶性加工液を用いることを可能とした。水溶性加工液の使用は環境に優しく、しかも加工ラインの簡素化に大きく役立つ。さらに、電解ドレッシングの電気量および砥石押し付け力を制御することにより、機械的ドレッシング無しに切削性能を長時間持続することが可能となった。この技術により、金型等の加工表面の大きな部材の能率的な精密仕上も十分可能であることがわかった。

学位論文の審査結果の要旨

1997年1月22日に第1回学位論文審査委員会を開催し、2月5日の口頭発表の後最終審査を行った結果、以下の通り判定した。

本論文は、表面粗さに優れ、加工変質層が少ない超精密加工面を効率よく得ることのできる新しい加工法の開発について述べている。まず、ファインセラミックスの加工をとりあげ、超仕上が加工表面に与える損傷をその材料強度に及ぼす影響を調べることで評価している。また、破壊力学の立場から砥粒粒度の材料強度への影響を考察している。超微粒ダイヤモンド砥粒の使用を可能とするためには切れ刃の自生作用の促進が不可欠であるが、電解インプロセスドレッシングの併用を提案し、その適用方法について検討している。その際、ファラデーの法則により電解速度を理論的に導出し、ドレッシング効果の安定性について調べている。また、様々な条件のもとで得られた実験結果を同一レベルで比較するため、加工工程をモデル化して扱うことにより新しい評価関数を解析的に導出している。さらに、ファジィ制御の適用も試みている。電解ドレッシングの援用が可能となったことにより、超微粒砥石の使用に道が開けたこと、廃液処理の点から環境に優しい加工液の使用が可能になったこと、砥石切れ味を自在にコントロールできること、砥石の品質管理がたやすくなったこと、加工システムの管理を簡便化できること、などその成果の意義は極めて大きい。よって博士論文に値するものと判定する。