

水溶性加工液による超仕上げ*

—電解インプロセスドレッシングの適用—

上田 隆 司** 坂 本 智*** 杉 田 忠 彰**

Effect of Coolant of Water-solution in Superfinishing
— Application of Electrolytic In-process Dressing —

Takashi UEDA, Satoshi SAKAMOTO and Tadaaki SUGITA

In order to simplify the treatment of coolant in production systems, the superfinishing characteristics under the condition of water-solution type coolant are investigated experimentally. This type of coolant is inferior to an oil type coolant in removing chips from the stone because of its poor permeability. Electrolytic in-process dressing is applied to promote the self-dressing of diamond stone. As work materials, alumina which is sintered under atmospheric pressure and soft steel (equivalent to 0.15% carbon steel) are used. The results obtained are as follows. Electrolytic in-process dressing makes it possible to use the coolant of water-solution in superfinishing. The suitable conditions in electrolytic in-process dressing depend on the machinability of work materials. The soft steel whose chips are easy to make a loading on the working surface of stone needs the stronger dressing. A concentration of some percent is sufficient for a coolant to maintain its essential properties. The electrolytic in-process dressing is more effective for harder or finer stone, because it can control the cutting ability of the stone.

Key words: superfinishing, electrolytic in-process dressing, water-solution type coolant, alumina, soft steel

1. 緒 言

現在、超仕上げ加工では切りくず排出効果、潤滑効果ともに優れた油性加工液が用いられている。ところが、研削など他の加工法では水溶性研削液を用いる場合が多く、その中で油性加工液を用いる超仕上げ加工は加工ラインを組む上で大きな障害となっている。すなわち、水溶性加工液の洗浄・乾燥を行った後、超仕上げを行わなければならない、加工後再び油性加工液の洗浄・脱脂が必要となる場合もある。また、油性加工液の廃液処理も難しい。従って、超仕上げに水溶性加工液を用いることができれば洗浄などの工程を省くこともでき効率的である。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などメリットは大きい。

ところが、超仕上げは微粒砥石を用いることから、切りくずの排出が難しく、加工液による切りくず排出効果が加工性能に大きな影響を及ぼす。一般に、水溶性加工液は油性加工液に比べ浸透性に劣るため¹⁾、切りくず排出能力が低下してしまい砥石の目づまりを促進し、切削性が大きく低下してしまうと考えられる。このため、超仕上げに水溶性加工液を用いようとする場合、砥石の目づまりを抑制し、適度に自生作用を促進して、砥石の切削性を維持する方法を講じなければならない。

そこで本研究では、電解インプロセスドレッシングを超仕上げ加工に適用することによって水溶性加工液の超仕上げ加工への適用を検討した。電解ドレッシングの併用により、砥石ボンダ剤を強制的に除去し、砥石の切りくず排出能力および切削性を維持できることが期待できる。

2. 実験方法

2.1 実験装置および実験条件

実験装置の主要部を図1に、砥石形状および電極の設定位置

を図2に示す。実験には円盤状砥石を用い、加振した角柱状の加工物を一定圧力で押し付けて仕上げる平面超仕上げで行った。円盤状砥石②は旋盤のチャック①に固定し、回転運動を与えると同時に、ブラシを介して直流パルス電源⑨の陽極に接続する。一方、電極は図2にみるように砥石作業面と一定のギャップ（設定ギャップ y_0 ）を介して電源の陰極に接続している。ギャップ間を加工液が流れるとき電流が流れ、ボンドの電解が行われる。電極の大きさおよびギャップは流れる電流に大きな影響を与える。電極が大きくなり、ギャップが狭くなると効果的なドレッシングが期待できるが、加工液が流れ難くなる等、実験装置の面から限界があり適当な大きさとギャップがある。そこで、本研究では種々の条件で検討し、電極面積を砥石作業面積の1/20、ギャップ $y_0 = 0.5 \sim 1.0$ mm とした。

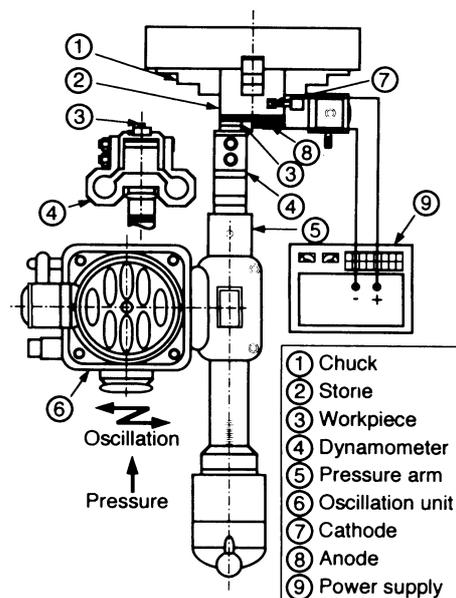


Fig. 1 Schematic illustration of main part of superfinishing machine

* 原稿受付 平成7年6月7日

** 正会員 金沢大学工学部 (金沢市小立野 2-40-20)

*** 学生会員 金沢大学大学院

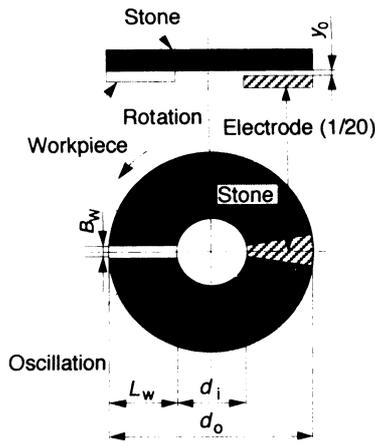


Fig. 2 Experimental set-up

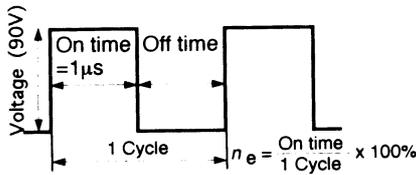


Fig. 3 Definition of pulse

Table 1 Finishing conditions

Finishing speed V m/min	34
Frequency N cpm	907
Amplitude A mm	1.6
Coolant temperature T K	298
Initial electrode gap y_0 for soft steel mm	0.5
for Al_2O_3 mm	1.0

加工物③は加工抵抗測定用の動力計④に取り付け、加圧アーム⑤中のスプリングによって一定圧力で砥石に押し付けるとともに、旋盤の刃物台に取り付けた振動ユニット⑥によって加振した。

電解用直流パルス電源⑨は図3に示すようなパルス状の電圧を印加することができる。図に示すように電源パルスのオンタイム、オフタイムを定め、1サイクルの中でオンタイムの占める比率 n_e を変化させることで電流量を調整し、電解ドレッシングの速度を制御している。オンタイム、オフタイムは各々最短で $1 \mu s$ 、最長で $100 \mu s$ まで設定可能である。種々の組合せが可能であるが、実験はオンタイム $= 1 \mu s$ と一定とし、オフタイムを変化させることにより電流量を調整した。また、印加電圧は $90 V$ とした。

主な実験条件を表1に示す。加工速度 $V=34 m/min$ 、振動数 $907 cpm$ と標準的な加工条件を採用しており、加工液は液温を $298 K (25^\circ C)$ と一定にし、毎分 $2 l$ 供給した。また、砥石は、加工ははじめの状態を一定とするためスティック砥石 (GC 320) によりドレッシングして用いた。

2.2 実験材料

2.2.1 加工液

実験に使用した加工液の特性値を表2に示す。 A_c 、 B_c 、 C_c 、 D_c は水溶性加工液であり、 E_c は鉱油をベースにした油性加工液である。 A_c は極圧剤を添加したソリューションタイプ研削液であり潤滑性、浸透性、防錆性に優れている。 B_c は極圧剤を加えていないソリューションタイプの研削液であり、その分 A_c

Table 2 Characteristics of coolants

Symbol of coolants	A_c	B_c	C_c	D_c	E_c
Coolant type JIS	W2-2	—	—	W2-1	—
Fatty acid - its derivative mass%	22	7	—	11	—
Alkanolamine mass%	15	30	30	13	—
Refined mineral oil mass%	5	—	—	—	85
Surface active agent mass%	—	—	—	30	—
Rust inhibitor mass%	10	—	30	15	—
Others mass%	5.9	0.4	1.3	0.5	15
Water mass%	42.1	62.6	38.7	31.5	—
Sulfur mass%	—	—	—	—	0.7
Chlorine mass%	2.5	—	—	—	1.2
Fatty oil mass%	—	—	—	—	12
pH ($\times 30$)	9.4	9.4	9.8	8.7	—
Surface tension ($\times 30$) $10^{-3} N/m$	38	68.2	72	35.5	—

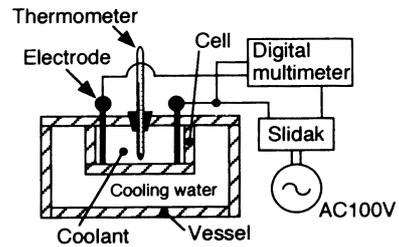


Fig. 4 Equipment to measure coolant resistivity

よりも反応性が低い。 C_c は B_c から脂肪酸などの油性向上剤を除去して単純化（反応性を抑えた）したソリューションタイプの研削液である。 D_c は界面活性剤を多量に加えて浸透性を向上させたソリューションタイプの研削液である。いずれの加工液も特別に導電性物質は加えていない。 E_c は一般に超仕上げに使用されている油性加工液であり、水溶性加工液の性能と比較するために用いている。

電解ドレッシングを行うにあたって加工液の抵抗率は電解作用の強弱を支配する大きな要素の1つである。そこで水溶性加工液を 100% (原液) $\sim 1\%$ に希釈し、抵抗率を測定した。加工時には多量の加工液を用いることから、希釈液としてできるだけ水道水を用いることが望ましい。

図4に実験に用いた簡易抵抗率測定装置の模式図を示す。実験に用いた電導度槽は二重構造となっており、内側の槽には測定する加工液を入れ、外側の槽には液温制御用の冷却水を入れる。内槽-外槽間は完全に絶縁を施してあり、内槽-外槽間で並列回路を形成することはない。また、電極の溶出および電解生成物の付着を極力抑えるために電極材料には $\phi 8$ の黒鉛円柱を用いる。供給電源は商用交流 $100 V$ をスライダックで降圧したものを用い、その時の電圧値、電流値をデジタルマルチメータで測定し、抵抗率を求める。通電に伴う加工液の温度上昇は常時温度計により監視し $25^\circ C$ 一定に保ち実験を行う。

図5に水道水を希釈液として得られた電圧と電流との関係を、表3に得られた各加工液の抵抗率を示す。括弧内は希釈液に蒸留水を用いた場合で、星印はメーカ提供である。一般に電解ドレッシングに用いられる加工液の抵抗率は 2% の溶液で $2000 \sim 4000 \Omega cm$ 程度であり²⁾、これに比較すると本研究で用いた加工液の抵抗率は低い。また、蒸留水に比べ、水道水を用

† 使用した加工液は日本グリース(株)製、 A_c : サンライト EC-40, B_c : サンクール GF-100, C_c : サンクール GF-200, D_c : サンライト TC-800, E_c : No. 7 である。

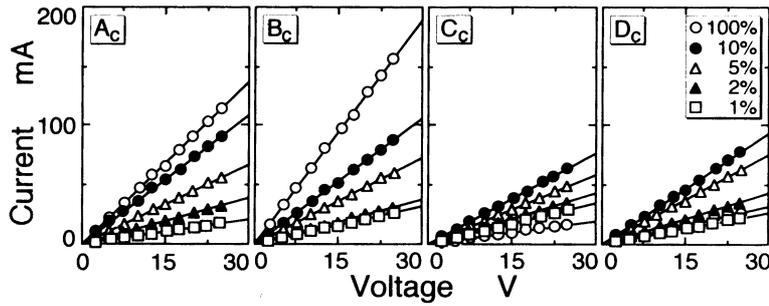


Fig. 5 Relation between current and voltage

Table 3 Values of resistivity

Symbol of coolants	A _c	B _c	C _c	D _c
100% dilution	198	142	1 308	812
10% dilution	245 (360*)	253 (—)	351 (500*)	285 (390*)
5% dilution	394 (400*)	368 (—)	458 (—)	359 (480*)
3.3% dilution	— (634)	— (168)	— (1 024)	— (—)
2% dilution	691 (1 085)	718 (1 056)	633 (1 573)	635 (—)
1% dilution	1 285 (—)	856 (—)	786 (—)	979 (—)

Table 4 Diamond stones used

Stone	SD 1000 M	SD 4000 M-S	SD 4000 M-H	SD 8000 M
Grain type	SD	SD	SD	SD
Bond	Bronze metal	Bronze metal	Bronze metal	Bronze metal
Grain size #	1 000	4 000	4 000	8 000
Concentration	100	100	100	100
Bending strength MPa	140	140	200	200

Table 5 Characteristics of workpieces

	Soft steel	Al ₂ O ₃
Density g/mm ³	7.79	3.7
Vickers hardness HV	126	1 580

いと 30~50% 程抵抗率が低くなっている。そのため過度な電解作用による砥石の形崩れ、陰極および砥石表面への電解生成物の付着、過度な砥粒の脱落等を防ぐため弱い電解条件の設定が必要と予想される。

2.2.2 使用砥石および加工材料

実験にはブロンズ系メタルボンド砥石を用いた。表 4 に砥石の仕様を示す。表中の曲げ強度はボンドの砥粒保持力の大小の目安となり、強度が大きいほど保持力が大きい³⁾。実験に使用した砥石の曲げ強度 σ_b は 140 MPa および 200 MPa であり、砥粒保持力は強い。砥粒には人造ダイヤモンド (GE 製 300 シリーズミクロンパウダ) を用いている。砥石の粒度は # 1 000, # 4 000, # 8 000 の 3 種類である。

砥石形状は図 2 に示すようであり、外径 $d_o=60$ mm, 内径 $d_i=20$ mm の円盤状である。角柱状砥石を用いる円筒超仕上げに比べ陰極の配置が容易な形状としている。

加工材料にはセラミックスとして常圧焼結した Al₂O₃, 金属材料として軟鋼 (S 15 C 相当) を用いている。表 5 に加工物の特性値を示す。加工材料は 20 mm × 3 mm × 3 mm の角柱状とし、# 400 砥石により所定の前加工を施している。

2.3 データ整理

加工条件の適正、砥石の切削性、加工材料の被削性等を判定するために評価関数“砥石切込み深さ \bar{d} ”, “比加工エネルギー k_s ”を用いる。 \bar{d} および k_s は角柱状加工物の厚さ減少速

度 $d(\delta H_w)/d\tau$ と加工抵抗接線方向分力 F_t を用いることにより次式で表される^{4)~6)}。 B_w : 加工物幅, L_w : 加工物長さ, d_o : 砥石外径, d_i : 砥石内径, V : 切削速度, A : 加工物振幅とすると

$$\bar{d} = \frac{2\pi B_w L_w}{V(2d_i\pi - A)} \frac{d(\delta H_w)}{d\tau} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{F_t V}{2\pi B_w L_w} (1+K^2)^{1/2} E(k) \frac{1}{\frac{d(\delta H_w)}{d\tau}} \quad (2)$$

ただし、 $K=2\pi NA/V$, E は第 2 種完全楕円積分, $k^2=K^2/(1+K^2)$ 。

加工実験において角柱状加工物の厚さ減少速度 $d(\delta H_w)/d\tau$ および加工抵抗接線方向分力 F_t を測定することにより \bar{d} , k_s を求めることができる。 \bar{d} が大きく k_s が小さい場合、砥石が切削性の優れた状態にあると判断できる。

3. 電解ドレッシング速度の検討

電解インプロセス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。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⁷⁾を応用して電解速度 v_l およびギャップ y の時間的变化を求めると (付録参照),

$$v_l = s(y_0^2 + 2s\tau_e)^{-1/2} \quad (3)$$

$$y = (y_0^2 + 2s\tau_e)^{1/2} \quad (4)$$

ここで y_0 は設定ギャップ, τ_e は電解時間, s は次式で与えられる。

$$s = \frac{\eta(x_0(1+\Delta T\alpha)(1-\beta)^{3/2})n_e E S_r (1+D\gamma_g^{-1})}{F \sum_i \frac{n_i}{M_i} \gamma_i c_i} \quad (5)$$

ただし、 x_0 : 加工液の導電率, ΔT : 極間通過時の加工液温度差, α : 加工液の温度係数, β : 気泡率, E : 電圧降下, S_r : 電極と砥石の面積比, D : 砥石中の砥粒率, γ_g : 砥粒密度, n_e : オンタイムの比率, F : ファラデー定数, y : ギャップ, n_i : ボンド剤の原子価, M_i : 原子量, c_i : 元素の含有率, γ_i : 元素の密度, η : 電流効率, i : ボンド剤中の元素数 ($i=1 \sim n$)。

導出した式 (3), (4) に表 3 に示す加工液の抵抗率, および砥石の諸条件を代入し、計算した結果のうち加工液 C_c を用いた場合を図 6 に示す。電解時間が 1 000 s あたりからギャップ y が変化し始め、ドレッシング速度 v_l が低下している。本研究での加工時間は最長で 900 s 間であり、加工時間中の y の変化は小さく v_l はほぼ一定と考えることができる。たとえば、 $n_e=6.25\%$ で 900 s 間連続で電解した場合の砥石面後退量は 12.2 μ m 程度であり、設定したギャップ $y_0=1.0$ mm に比較すると無視しうる値である。従って、電解に伴う砥石損耗による電解速度の変化に注意する必要のないことがわかる。

† 本研究の加工条件では $K=0$ より $E(k)=2\pi$ 。

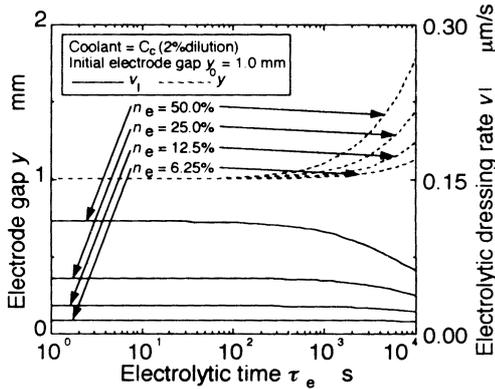


Fig. 6 Relation between electrode gap and electrolytic time

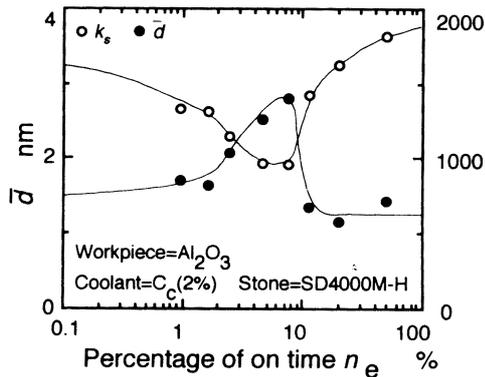


Fig. 7 Influence of percentage of on-time on finishing performance

4. 実験結果

4.1 電解条件の影響

実験では図3に示すように、オンタイム=1 μsとし、オフタイムの時間を变化させて比率 n_e を変えている。図7は加工物に Al_2O_3 、砥石に SD 4000 M ($\sigma_b=200$ MPa)、加工液に C_c の2% 溶液を用い、ギャップ $y_0=1.0$ mm として n_e を变化させた場合の結果である。オンタイムの増加とともにドレッシング効果が得られ \bar{d} が大きくなり、 k_s が減少して砥石の切削性は向上する。しかし、 $n_e=7.7\%$ (オンタイム=1 μs、オフタイム=12 μs) でピークをとり、以後比率 n_e を増すと \bar{d} が小さくなり、 k_s が大きくなって砥石の切削性は低下している。これは過度の電解作用により砥粒保持力が低下し、砥粒脱落が著しくなったためである。なお、オンタイムを变化させて加工を行ってみたが、比率 n_e が同じであればほぼ同様の結果が得られた。

そこで、以後の Al_2O_3 の加工では $n_e=7.7\%$ の条件で加工してゆくことにする。

4.2 加工液の決定

図8に種々の水溶性加工液で Al_2O_3 を加工した場合の加工量 ΣD を示す。使用砥石は SD 4000 M ($\sigma_b=200$ MPa) である。図(a)に示す加工液 A_c は添加物が多いため反応性に富み、砥石ボンド剤の主成分の銅と反応して粘性のある黒色の析出物を生成し、砥石作業面に付着して目づまりを誘発してしまう。このため、図にみられるように加工量は少なく、加工開始直後砥石がすぐに目づまり状態となっている。そこで、添加物を減らして反応性を抑えた加工液 B_c を用いてみた。図(b)にみるように、加工が進行しても加工量は増え続けており、砥石の切

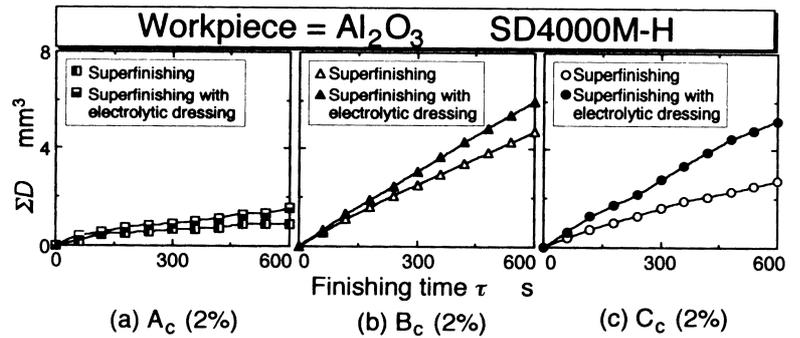


Fig. 8 Comparison of superfinishing performance of coolant type

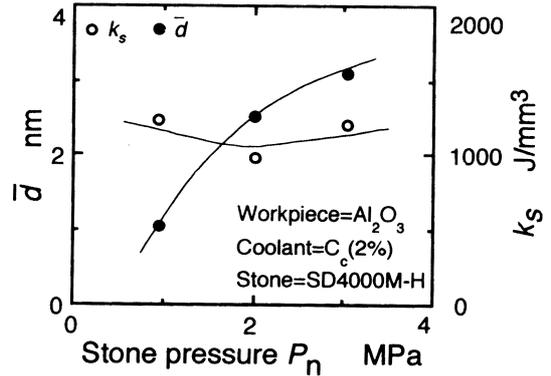


Fig. 9 Influence of stone pressure on finishing performance

削性は大きい改善されていることがわかる。ところが、まだわずかに析出物を生じ、白色の Al_2O_3 の加工面が変色してしまう。そこで、さらに添加剤を減らした加工液 C_c を用いてみた。図(c)にみるように、加工量は図(b)に比較すると少し劣るが、砥石の切削性は持続しており、また析出物を生じることもなく、安定した加工状態が得られている。従って、 Al_2O_3 の加工にはアミン系化合物を主成分とする C_c が適していることがわかる。

4.3 砥石圧力の影響

一般に定圧加工において、加工物の形状精度が改善されるためには、砥石圧力 P_n が大きい状態で加工量が多くなり、 P_n が小さくなると加工量が減少する正常な加工状態になければならない。図9は P_n が砥石の切削性に及ぼす影響を調べているが、 P_n が大きくなるに従って砥石切込み深さ \bar{d} が大きくなっており、かつ k_s はほぼ一定であることから砥石は正常な切削状態にあることがわかる。従って、水溶性加工液を用いた場合でも電解ドレッシングを併用することにより正常な切削を行うことができる。

4.4 砥粒保持力の影響

超仕上げでは微粒砥石を用いることから、砥石の切削性を持続させることは難しい。砥粒保持力が大きい砥石では目づぼれ状態となりやすく、切りくずの排出が不可能となってしまう。一方、保持力が小さい砥石では、目こぼれ状態となり、砥石の切削性はよいが砥石損耗が多く仕上げ(研削比に相当)は小さくなって実用にならない。従って、砥石に適度の自生作用を持たせる必要があるが、砥粒保持力の調整が難しい。ところが、電解ドレッシングを施す場合、電解の強さをコントロールすることにより砥石の自生作用を調整でき、砥石の設計が容易になる期待が持てる。そこで、一般の加工で用いられる砥石よりはるかに大きな保持力を持つ砥石を2種類作り、その影響を調べ

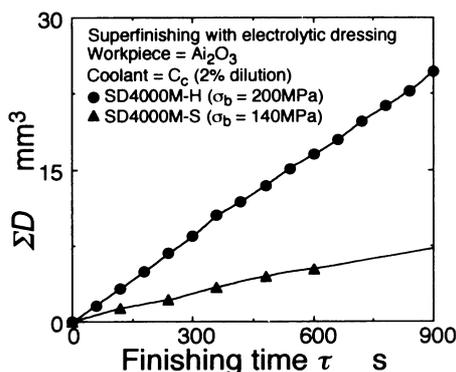


Fig. 10 Influence of bending strength of SD stone

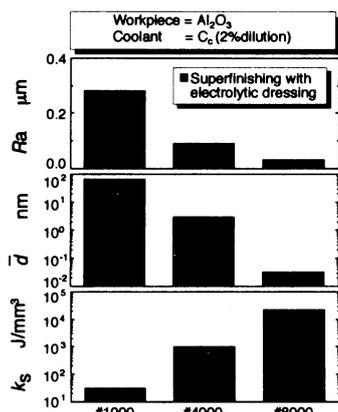


Fig. 11 Influence of grain size on finishing performance

てみた。図10に砥石の砥粒保持力が加工量 ΣD に及ぼす影響を示す。ここでは砥粒保持力を砥石の曲げ強度 σ_b で表しており、 σ_b が大きい砥石ほど保持力が大きいと判断できる。図では、砥粒保持力が高い $\sigma_b=200$ MPa の方が $\sigma_b=140$ MPa の砥石の約3倍の加工量が得られており、この加工条件では保持力の大きい砥石はるかに有利なことがわかる。すなわち、電解条件を変えることにより幅広い加工特性を得ることができるわけである。 $\sigma_b=140$ MPa の砥石の場合でも、電解条件を変えれば当然異なる結果が得られるが、電気を少なくすると加工液の流れ方や砥石作業面の状態などわずかな変化が大きく影響することになり、安定した電解状態を得にくくなる。このため一般的には、砥石の切削性を電解条件で幅広くコントロールすることができるなどの利点もあり、砥粒保持力の大きい砥石を用いるべきといえる[†]。

図11は砥石粒度の影響を調べた結果である。先の結果をふまえて砥粒保持力が高い砥石を用いているが、#8000の高粒度の砥石においても加工が可能となっており、優れた仕上面粗さが得られている。

4.5 油性加工液との比較

これまでの結果より、水溶性加工液 C_c を用いて Al_2O_3 を SD 4000 M ($\sigma_b=200$ MPa) 砥石で加工する場合、電極面積 = 1/20, ギャップ $y_0=1.0$ mm, $n_e=7.7\%$ が最適な加工条件であることがわかった。そこで、この条件のもとで得られる加工特性を従来の加工に油性加工液を用いた場合と比較してみた。図12にみるように、水溶性加工液を用いた場合でも電解ド

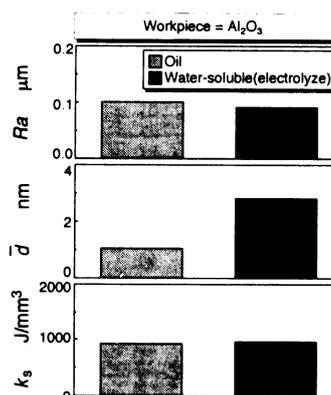


Fig. 12 Influence of coolant type on finishing performance

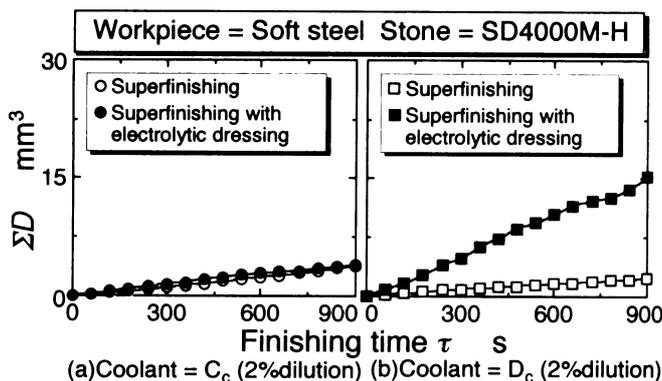


Fig. 13 Comparison of superfinishing performance of coolant type

レッシングを併用することにより砥石切込み深さ \bar{d} が油性加工液を用いた場合に比べて3倍近くも大きくなっており、十分対抗できることがわかる。

5. 軟鋼の加工への適用

軟鋼の加工では長くて溶着性に富む切りくずを生じることから、激しい目づまりが予想され、 Al_2O_3 の電解条件ではドレッシング効果を期待することは難しい。そこで電極と砥石間のギャップを $y_0=0.5$ mm とし、より強い電解条件で加工してみた。

図13(a)は加工液 C_c を用いた加工量 ΣD であるが Al_2O_3 で優れた性能を発揮した加工液も軟鋼に対しては切りくず排出能力が劣るため砥石の目づまりが激しく、切削性が大きく低下している。また、電解ドレッシングの効果もほとんど現れていない。そこで界面活性剤を添加し浸透性を向上させた加工液 D_c を用いてみた。図(b)にみるように加工量 ΣD が大きく砥石が切削性を持続し続けており、電解ドレッシングの効果が大きく現れている。

次に、加工液 D_c に対して濃度 C_d の影響を調べてみた。図14にその結果を示す。 $C_d=2\%$ で加工量 ΣD がピーク値をとり、5%以上濃度を高くしても加工量 ΣD は大きく変化せずほぼ一定値となり、濃度を高くする効果はないことがわかる。2%程度であれば使い捨てが可能になり、加工液の管理を極めて簡単にできる利点もある。

図15にこれらの結果をもとに軟鋼を加工したときの加工特性を示す。 \bar{d} が大きく、 k_s が低く抑えられて砥石の切削性が大きく向上していることがわかる。電解ドレッシングにより目

[†] 電気を大きくしすぎると、4.2節に述べたような析出物を生じる恐れが出てくるためおのずと制限を受けることになる。

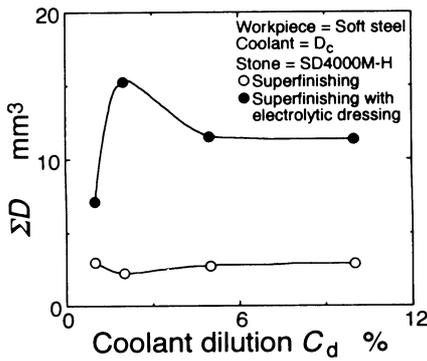


Fig. 14 Influence of coolant dilution on finishing performance

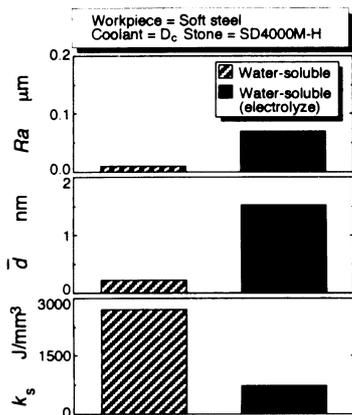


Fig. 15 Influence of electrolytic dressing on finishing performance

つまりの激しい軟鋼の加工にも水溶性加工液を使用することが十分可能といえる。

6. 結 言

加工ラインの簡素化を目的とし、油性加工液の代わりに水溶性加工液を用いて Al₂O₃、軟鋼の超仕上げ加工を行い、水溶性加工液の有用性を検討した。水溶性加工液を用いるために生じる加工性能の低下は電解ドレッシングを併用することにより補った。得られた結果は次のようである。

- (1) 電解ドレッシングを超仕上げに適用することにより、水溶性加工液を使用しても超仕上げ加工は可能である。
- (2) 最適電解条件は加工物により異なり、目づまりを生じやすい材料では強い電解ドレッシングを必要とする。
- (3) 砥粒保持力の強固な砥石において、電解ドレッシングは有効である。
- (4) 砥粒度が高い砥石においても電解ドレッシングの効果は大きい。

終わりに、実験材料の提供を受けた日本特殊陶業(株)、日本

グリース(株)、(株)ミズホに深謝する。

[付 録]

ファラデーの法則より電流 I が時間 $\Delta\tau_e$ 流れた時に溶出するボンド量 w_1 は、

$$w_1 = \frac{M_1 I \Delta\tau_e}{n_1 F}$$

ここで、 w_1 ：溶出量、 M_1 ：原子量、 n_1 ：原子価、 F ：ファラデー定数。

電解は深さ方向のみに生じるため、砥石面後退量 Δl は、

$$\Delta l = \eta \frac{M_1 I \Delta\tau_e S_r}{n_1 F \gamma_1 S}$$

ここで、 l ：砥石面後退量、 η ：電流効率、 S_r ：電極と砥石の面積比、 γ_1 ：元素の密度、 S ：砥石面積。

電解ドレッシング速度 v_1 は、

$$v_1 = \frac{\Delta l}{\Delta\tau_e} = \eta \frac{M_1 I S_r}{n_1 F \gamma_1 S}$$

導電率 κ 、ギャップ y 、電圧降下 E とすると、 $I = E \kappa S / y$ より、

$$v_1 = \eta \frac{M_1 \kappa E S_r}{n_1 F \gamma_1 y}$$

ここで、ボンドは合金で、その中に砥粒を含むこと、電解中に液温が上昇することおよび気泡が発生すること等を考慮すると⁷⁾、

$$v_1 = \left(\frac{\eta (\kappa_0 (1 + \Delta T \alpha) (1 - \beta)^{3/2}) n_e E S_r (1 + D \gamma_g^{-1})}{F \sum \frac{n_i}{M_i} \gamma_i c_i} \right) \frac{1}{y}$$

$$= s \frac{1}{y}$$

ここで、 κ_0 ：加工前の導電率、 ΔT ：極間通過時の加工液温度差、 α ：温度係数、 β ：気泡率、 n_e ：オンタイムの比率、 D ：砥粒率、 γ_g ：砥粒密度、 c_i ：元素含有率。

従って、 $v_1 = dy/d\tau$ よりギャップ y が求まる。ここで、加工中 s は変化しないとし、 $\tau = 0$ で $y = y_0$ とすると、

$$y = (y_0^2 + 2s\tau_e)^{1/2}$$

が得られる。

参 考 文 献

- 1) 例えば、山本 明、鈴木晋作：切削油剤とその効果、朝倉書店、(1966) 6。
- 2) 例えば、H. Ohmori and T. Nakagawa：Mirror Surface Grinding of Silicon Wafers with Electrolytic In-Process Dressing, Ann. CIRP, **39**, 1, (1990) 329。
- 3) 上田隆司、花見真司、平野 聡、山本 明：ファインセラミックスのホーニング加工——ダイヤモンド砥石の結合剤が切削性能に及ぼす影響、精密機械, **51**, 6 (1982) 1195。
- 4) 上田隆司、山本 明：ホーニング機構に関する一考察、精密機械, **48**, 11 (1982) 1514。
- 5) T. Ueda and A. Yamamoto：An Analytical Investigation of the Honing Mechanism, Trans. ASME, J. Eng. Ind., **106**, Aug. (1984) 237。
- 6) 上田隆司、金曾久佳、杉田忠彰：超仕上げの加工機構に関する研究、日本機械学会論文集 C 編, **57**, 538 (1991) 2154。
- 7) 佐藤敏一：電解加工と化学加工、朝倉書店、(1970) 35。