

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560121

研究課題名(和文) ドレッシングプロセスの可視化支援による定量的評価に基づいたRDドレスサの最適設計

研究課題名(英文) Optimal design of rotary diamond dresser based on quantitative evaluation using visualization support of dressing process

研究代表者

久保 明彦 (KUBO, AKIHIKO)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：40178025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はドレッシングプロセスを計算機シミュレーションとドレッシング実験によって可視化することにより、研削砥石の作業面創成に及ぼすロータリダイヤモンド(RD)ドレスサの仕様およびドレッシング条件の影響を検討している。砥石の表層を均質な連続体であると仮定し、角柱ダイヤモンドロータリドレスサによる砥石作業面に残るドレッシング軌跡を幾何学的に計算し、描画表示できるソフトウェアを作成した。広範囲な条件のもとでシミュレーションを実行し、ドレッシング性能評価パラメータ(ドレス率、砥石作業面粗さ、砥石除去体積、実質切込み量など)との関係を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study deals with simulation system by which one can visually inspect the grinding wheel surface topography and quantitatively evaluation the dressing performances under various dressing conditions for a rotary dresser. The rotary dresser uses prismatic diamond grids. The simulation system uses the kinematic relationship among the dresser and grinding wheel and other dressing conditions (e.g., number of dressing passes, depth of cut of dresser, velocity ratio), while determining the dressing performances. The system is shown useful in designing a rotary diamond dresser for given set of dressing conditions.

研究分野：切削・研削加工

キーワード：ロータリダイヤモンドドレスサ シミュレーション ドレッシングプロセス 砥石作業面粗さ 砥石除去体積 実質切込み量 ドレッシング抵抗

1. 研究開始当初の背景

CBN研削砥石のツーリング（成形）およびドレッシング（目直し）に使用されるロータリダイヤモンドドレッサ（RDドレッサ）は単品の受注生産がその大半を占めており、その設計は個々の企業が蓄積している固有の経験に基づいて行われている。さらに、ロータリダイヤモンドドレッサは高価であるため、その最適仕様をドレッシング/研削実験によって事前に評価することにも限界がある。また、深穴内面の加工のようにサブミクロン以下の形状精度が要求され、これに使用される小径の細長い軸付き砥石の場合には切れ味のよい砥石を用いて研削抵抗を低くし、良好な研削特性が長い時間持続するようなドレッシング技術を獲得することが重要である。

ロータリダイヤモンドドレッサの性能評価は、ドレッシングを行ったCBN研削砥石の研削性能（研削抵抗、研削仕上げ面等）を用いて間接的に行われるのが一般的である。その理由は、ドレッシングプロセスがダイヤモンド粒による硬脆材料（CBN砥粒と結合剤からなる複合材料）の脆性破壊を主体とする除去加工でありそのメカニズムが複雑であること、要求する研削性能を得ることがドレッシングの最終目的であるから生産現場においては研削性能を評価したほうが説得力を有することが挙げられる。一方、このような特殊な研削条件（工作物種類、研削方法等）のもとでの間接的な評価がロータリダイヤモンドドレッサの最適設計を経験的にしていることも事実である。

ドレッサと研削砥石の干渉状態を解明しようとする試みとして、確率論による解析（守友ほか、1984年）と幾何学による解析（横川ほか、1990年）がある。最近になって、ドレッシングプロセスをコンピュータで可視化することが提案（Z. M. Bzymek ほか、2009年）されている。

2. 研究の目的

本研究はドレッシングプロセスを計算機シミュレーションとドレッシング実験の融合によって可視化することにより、研削砥石の作業面創成に及ぼすロータリダイヤモンドドレッサの仕様およびドレッシング条件の影響を明かにすることを目的としている。

なお、幾何学的解析にあたっては、解析に必要なパラメータ数を少なくするために形状の単純な角柱ダイヤモンドロータリドレッサを選定し、一定の正方形断面を有する角柱ダイヤモンド粒がロータリドレッサの円周方向に一定間隔で配置され、その先端の半径方向位置も一定であるというドレッサモデルを設定し、ドレッシング条件によって幾何学的に決定される角柱ダイヤモンド粒の

運動軌跡が均質な連続体で構成される砥石作業面に転写されるという仮定のもとに砥石作業面を生成した。

3. 研究の方法

(1) ドレッシング力測定装置の製作を行う。ロータリダイヤモンドドレッサの作業面に配列されている個々のダイヤモンド粒が研削砥石と干渉する際に発生するドレッシング力を測定する動力計装置として水晶圧電式センサを用いて製作する。また、シミュレーションに必要なとなるダイヤモンド粒の形状モデリングとロータリドレッサの仕様（ダイヤモンド粒の配列密度、配列パターン、形状、使用条件など）を調べる。

(2) 研究の核であるドレッシングプロセスの可視化について、図1に示すように角柱ダイヤモンドロータリドレッサと平面研削用砥石を基本対象として、砥石作業面に残るドレッサ軌跡を幾何学的に計算し、2次元的に描画表示するソフトウェアを作成する。シミュレーション結果を整理し、ドレス率（ドレッシングされた面積と砥石作業面面積の比）とドレッシング条件との関連性を理論的に明らかにする。

(3) 次に、ドレッシングプロセスの可視化シミュレーションにおいて、2次元から3次元的に改良作成を行う。また、広範囲なドレッシング条件（周速度比、ドレッサ切込み量、往復ドレッシング回数など）とドレッサ仕様のもとでドレッシングプロセスの可視化シミュレーションを実行する。シミュレーション結果を整理し、ドレッシング性能評価パラメータとドレッシング条件との関係を理論的に明らかにする。

(4) 次に、角柱ダイヤモンドロータリドレッサを内面研削で使用される小径砥石へ適用した場合、およびロータリドレッサ円周上にダイヤモンド粒を規則的あるいは不規則に配置したドレッサを使用した場合などに

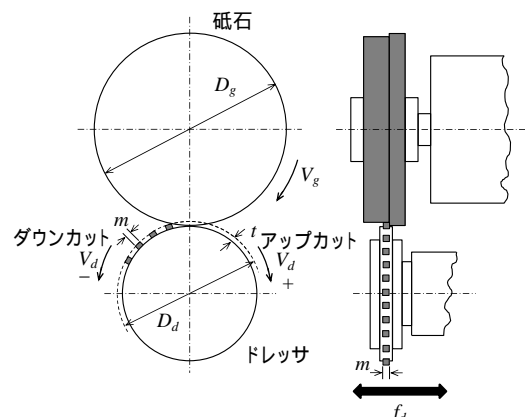


図1 角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いたトラバースドレッシング

表1 ドレッシング条件

研削砥石	
直径	$D_g = 140\text{mm}$
周速度(回転数)	$V_g = 36.7\text{m/s}$ ($N_g = 5000\text{min}^{-1}$)
角柱ダイヤモンドロータリドレッサ	
直径	$D_d = 50\text{mm}$
ダイヤモンド粒	
長さ, 幅	$m = 0.2\text{mm}$
ダイヤモンド数	$n = 120$
ドレッシング条件	
ドレッサ切込み量	$t = 2 - 8\mu\text{m}$
周速度比	$VR(=V_d/V_g) = \pm 0.1 - \pm 1.0$ (+: アップカット, -: ダウンカット)
ドレッサ送り速度	$f_d = 1 - 5000\text{mm/min}$
ドレスリード	$L_d(=f_d/N_g) = 0.0002 - 1.0\text{mm}$
ドレッサ送り率	$FR(=L_d/m) = 0.001 - 5.0$
ドレッシング回数	$N_D = 1 - 30$

いて、ドレッシングプロセスの可視化シミュレーションを実行する。

4. 研究成果

(1) 角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いてトラバース方式でドレッシングを行う場合について、2次元的にドレッシングプロセスの幾何学的解析を行い、ドレッシング条件とドレス率の関係を検討した。本研究で使用したドレッシング条件下において、ドレッサ切込み量一定で片側1回のドレッシングを行った場合、ドレッサ送り率(ドレスリードとドレッサ幅の比)が大きいとドレッシングされない部分が存在し、逆にドレッサ送り率が小さいと重複ドレッシングが増加する。例えば、周速度比 $VR=+0.7$ 、アップカット一定で片側1回のドレッシングを行った場合、ドレッサ送り率 $FR=0.5$ 以下でドレス率が100%となる(図2)。また、周速度比 $VR=+0.7$ 、ドレッサ送り率 $FR=1.0$ 、アップカット一定で両側切込み往復ドレッシングを行った場合、

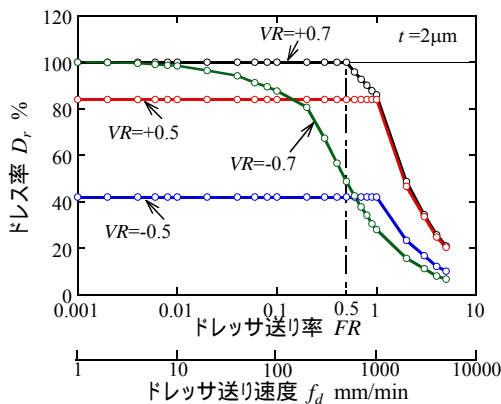


図2 片側1回ドレッシング

ドレッサと砥石の干渉開始点が異なり、砥石円周方向、砥石幅方向の位相がずれるためドレッシングされる部分が増加し、数往復でドレス率100%となることがわかった。

(2) 角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いてトラバース方式でドレッシングを行う場合について、3次元的にドレッシングプロセスの幾何学的解析を行い(図3)、ドレッシング条件(周速度比,ドレッサ切込み量,ドレッサ送り速度,ドレッサ送り率,往復ドレッシング回数)と砥石作業面粗さの関係について検討した。本研究で使用したドレッシング条件下において、ドレッシングの進行に

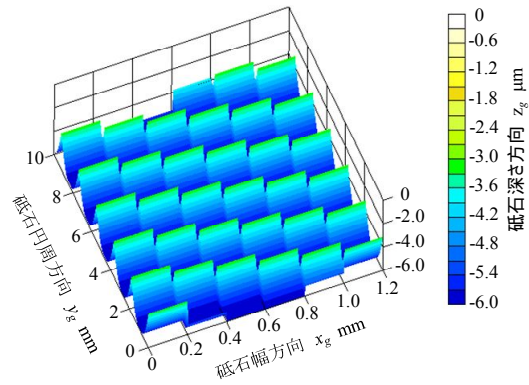


図3 砥石作業面のカラー等高線図の例(片側1回ドレッシング, $VR=+0.7$, $t=6\mu\text{m}$)

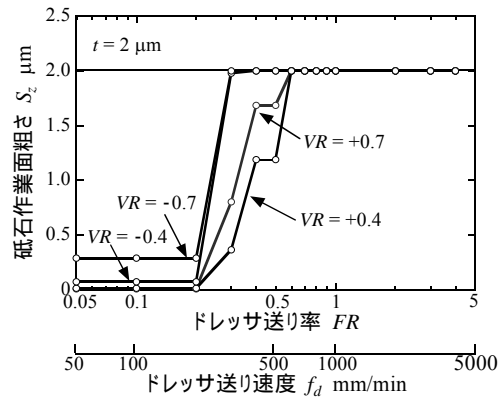


図4 片側1回ドレッシング

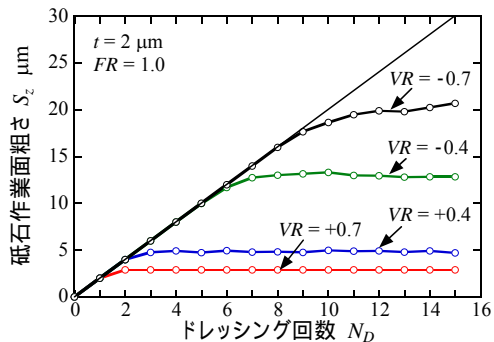


図5 両側切込み往復ドレッシング

伴う砥石作業面の最大高さ粗さの変化を追跡することにより、砥石作業面全領域がドレッシングされるための条件、すなわち、片側1回ドレッシングにおけるドレッサ送り速度(図4)および両側切込み往復ドレッシングにおけるドレッシング回数(図5)を把握することができることがわかった。両側切込み往復ドレッシングを行う際、アップカットドレッシングの場合にはロータリドレッサと砥石の接触開始点の影響がほとんどなく、一定の砥石作業面が得られる。一方、ダウンカットドレッシングの場合にはロータリドレッサと砥石の接触開始点の違いが砥石作業面に大きく影響するため、不安定なドレッシング性能を示すことがわかった。

(3) また、シミュレーション結果の妥当性を検証するため、未使用の角柱ダイヤモンドロータリドレッサに配置されたダイヤモンド粒の配置位置、大きさを測定し、これをもとにしたシミュレーション結果を疑似砥石(グラファイト)とドレッサとのドレッシング実験から得られる片側1回ドレッシング軌跡の結果と比較した。両者はよく一致しており、その一例を図6に示す。

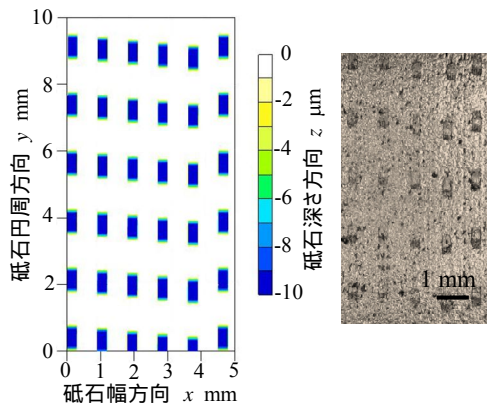
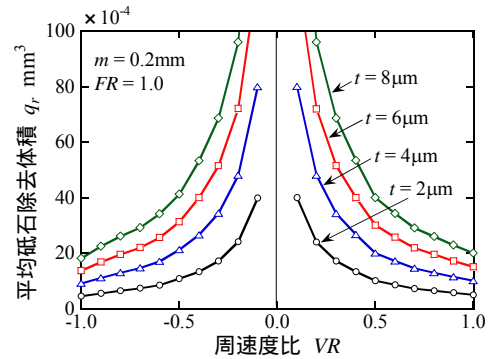


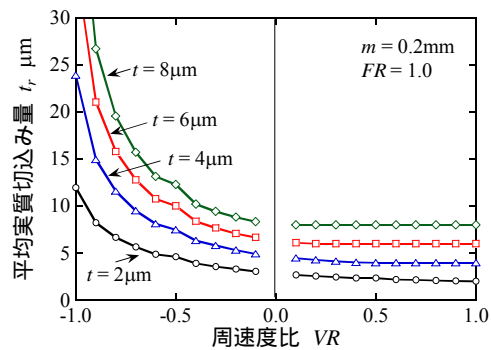
図6 ドレッシング軌跡の比較

(4) 次に、角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いてトラバース方式でドレッシングを行う場合について、個々の角柱ダイヤモンド粒によって除去される砥石体積および実質切込み量に及ぼすドレッシング条件の影響を検討した。本研究で使用したドレッシング条件下において、砥石端面の両側で切込みを与えるトラバースドレッシングの場合、砥石除去体積に切り残しが発生するため、角柱ダイヤモンド粒の砥石除去体積および実質切込み量は砥石作業面が平坦で切り残しが存在しないという仮定のもとに幾何学的に計算される値よりも大きくなる。角柱ダイヤモンド粒の実質切込み量は、周速度比とドレッサ切込み量が同一の場合、アップカットドレッシングに比べてダウンカットドレッシングのほうが大きくなる(図7)。

ロータリドレッシングにおける単位断面積あたりの比ドレッシング抵抗が周速度比の値に関わらず一定であると仮定するならば、平均実質切込み量の増加はドレッシング抵抗の増加をもたらす。したがって、ドレッサ切込み量が同一であるならば、ダウンカットドレッシングの場合のドレッシング抵抗はアップカットドレッシングの場合よりも大きくなることを示唆している。



(a) 平均砥石除去体積



(b) 平均実質切込み量

図7 砥石除去体積と実質切込み量

(5) ドレッサ切込み量を与えないでトラバース運動だけを与えるドレッシングアウトの場合、角柱ダイヤモンド粒によって摩擦される砥石作業面の面積はドレッシングアウト回数の増加とともに大きくなる。砥石作業面摩擦面積率は角柱ダイヤモンド粒の円周方向長さなが長いほど大きくなるが、ドレッサ切込み量や周速度比の影響を受けないことがわかった。

(6) 角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いて内面研削で使用される小径砥石に対してシミュレーション解析を行った結果、同一条件下において砥石直径が小さくなるにしたがい、角柱ダイヤモンド粒によりドレッシングされる領域が小さくなることがわかった。また、ロータリドレッサ円周上に多数の角柱ダイヤモンド粒を規則的あるいは不規則に配置したドレッサを用いてトラバース方式でドレッシングを行うシミュレーション解析を行い、ダイヤモンド粒配列と砥石

作業面創成との関係を調べた。

なお、実際のドレッシングにおいては砥粒の破碎や脱落を伴うため、幾何学的に得られるドレッサ軌跡が砥石作業面上にそのまま転写されることはあり得ない。そのため、実際のドレッシングに適用できるシミュレーションを実行するためには、砥石の仕様（3要素5因子）に基づいて砥石を砥粒と結合剤からなる複合材としてモデル化するとともに、「砥粒」とダイヤモンド粒の幾何学的干渉量（除去体積あるいは切込み量）と砥粒の破壊形態（破碎サイズ、脱落）との定量的関係をデータベースとして確立し、このデータベースを用いて砥石作業面を生成することが必要であり、今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

久保明彦, 田牧純一, ウラ シャリフ, 角柱ダイヤモンドロータリドレッサを用いたドレッシングプロセスの幾何学的解析, 砥粒加工学会誌, 査読有, Vol.59, No.4, 2015, pp.197-204.

A. Kubo, A.M.M. Sharif Ullah, J. Tamaki, Computer-aided simulation of dressing using diamond rotary dresser and visualization of dressing process, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.1017, 2014, pp.592-597.

DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1017.592

久保明彦, 田牧純一, ウラ シャリフ, 尾崎義治, 計算機援用によるドレッシングシミュレーションと砥石作業面の可視化, 砥粒加工学会誌, 査読有, Vol.58, No.4, 2014, pp.253-259.

DOI:10.11420/jsat.58.253

A. Kubo, M.A.K Chowdhury, S. Noda, J. Tamaki, A.M.M. Sharif Ullah, Visualization of 3D Topography of Grinding Wheel Surface Dressing by Rotary Diamond Dresser, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.797, 2013, pp.751-756.

DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.797.751

[学会発表](計4件)

A. Kubo, A.M.M. Sharif Ullah, J. Tamaki, Computer-aided simulation of dressing using diamond rotary dresser and visualization of dressing process, The 17th International Symposium on Advances in Abrasive Technology, 2014年9月22日~25日, Courtyard by Marriott King Kamehameha's Kona Beach Hotel,

(Hawaii Island, Hawaii, USA).

久保明彦, 田牧純一, ウラ シャリフ, 幾何学的手法によるドレッシングプロセスの可視化, 砥粒加工学会, 2014年9月11日~13日, 岩手大学工学部(岩手県盛岡市).

久保明彦, M.A.K Chowdhury, 田牧純一, ウラ シャリフ, ロータリダイヤモンドドレッサで創成される砥石作業面の3次元形状の可視化, 砥粒加工学会, 2013年8月28日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス(東京).

久保明彦, M.A.K Chowdhury, 田牧純一, ウラ シャリフ, ロータリダイヤモンドドレッサで創成される砥石作業面の可視化, 砥粒加工学会, 2012年8月29日~31日, 同志社大学京田辺キャンパス(京都).

6. 研究組織

(1)研究代表者

久保 明彦 (KUBO Akihiko)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号: 40178025