

CVD 導電性ダイヤモンドを用いたバニシング工具による温度測定

上智大学 理工学部 機能創造理工学科

准教授 田中 秀岳

(平成 28 年度 一般研究開発助成 AF-2016023)

キーワード：バニシング加工，ダイヤモンド工具，CVD，導電性ダイヤモンド，平滑面創成

1. 緒言

機械加工における仕上加工は，全加工行程の中で最終段階にあたり，製品の機能に大きく影響を及ぼす重要な工程である．年々高精度化している精密加工の分野において，従来の仕上加工の評価基準は，表面形状の観点に着目し，仕上性能を重視する傾向が強くなる．そのため，仕上加工段階では，いかに良質な表面形状を生成できるかという点に力を注いできた．しかし，近年では仕上性能に加え，生産効率の向上，環境への負荷に対する要求も重視される傾向にある．従来使用される研削加工などでは，専用の工作機械を必要とするため，切削加工から仕上加工に移る工程において時間を要する．また，工作物に対し，砥石を用いて表面を削ることで滑らかな面を得るため，加工時に加工屑が発生してしまう．これらのことから，従来の仕上加工では生産効率，環境への負荷という点では近年の仕上加工に対する要求を全て満たすことは難しいのが現状である．

現在，これらの要求を満たす仕上加工の一つとして注目されているのが，バニシング加工である．バニシング加工は，金属材料の塑性変形を利用する表面仕上げ法であり，高速で鏡面仕上げ面を得ることが可能である．そのため，加工中に加工屑の発生がなく，環境面に対して有利である．また，専用の工作機械を必要とせず，工具の交換のみでよいから，工程集約化及び加工時間短縮などの生産効率の向上も可能である．さらに，加工時に材料表面に強い圧縮応力を付加することによる表面改質によって，工作物表面の機械的特性の改善が期待できる利点もある．バニシング加工は，大きく分けて二種類の手法がある．高速回転する工作物に対して，加工対象面に押し付けた工具を，回転させて加工を行うローラ式と，回転させずに進行するチップ式が存在する．本研究ではチップ式バニシング加工に着目し実験を

行う．近年の仕上げ加工における要求を満たす加工法として注目されているバニシング加工だが，課題が存在する．加工時に，加工材料と工具材料の二つの金属間に摩擦が生じる．そのため，摩擦熱により加工材料と工具部分の温度が上昇する．長時間高温下で加工を行っていると，工具摩耗が促進される．

バニシング加工は，工具の特性や加工条件を十分考慮することで，高硬度材などの難削材に対して有効であることや，それらの加工条件による加工面の表面形状への影響，表面改質の定量的評価は行われている⁵⁾ ⁶⁾．しかし，現段階では，加工を行う工具の摩耗やそれにより変化する加工面の表面形状の影響，そして工具寿命などは，明らかになっていない．バニシング加工を一般的な仕上げ加工として利用するには，これらの問題を解決する必要がある．本研究では，加工時の工具温度測定法として工具-工作物熱電対法を提案する．この測定法は，熱電対の原理を応用することで，加工時の工具加工面温度を明らかにする．そのため，工具は十分な工具性能に加え，導電性を有していることが条件となる．この点をふまえ，新たな工具の開発に着手し，開発した工具と提案した温度測定法を使用して，バニシング加工時の工具加工面温度の測定を可能にすることを目的とする．

2. 工具-工作物熱電対法

図 1 にバニシング加工における工具-工作物熱電対法¹⁾の概略を示す．汎用旋盤を用い，工作物と汎用旋盤のチャック間及び工具と刃物台の間は電氣的に絶縁されている．工作物端面には回転接点が設けられ，工作物表面と工具の CVD ダイヤモンド間での熱起電力を測定する．図 2 の左図は導電性ダイヤモンド工具を，右図はレーザ顕微鏡

(Olympus co. ; LEXT OLS4100)で観察した工具加工面性状を示す. 工具先端部にホウ素を添加した

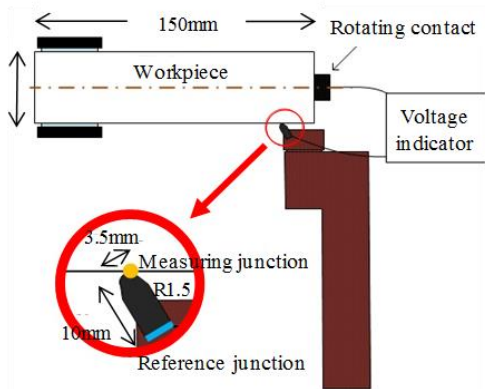


Fig.1 Schematic of tool-workpiece thermocouple method for burnishing

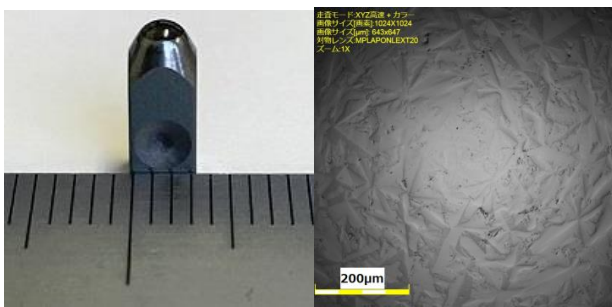


Fig.2 Electro-conductive diamond burnishing tool

Table 1 Tool roughness

	Ra	Rz
Single crystal Diamond	0.008 μm	0.066 μm
Electro-conductive diamond	0.013 μm	0.097 μm

Table 2 Experimental conditions (Cutting)

Rotational speed	min^{-1}	710
Feed rate	mm/rev	0.139
Cutting depth	mm	0.3

Table 3 Experimental conditions (Burnishing)

Rotational speed	min^{-1}	395
Feed rate	mm/rev	0.052
Burnishing force	N	32.5

CVD ダイヤモンド(Element 6 社, オグラ宝石精機工業製)を使用している. そのため, 単結晶ダイヤモンドにはなかった導電性を有した工具となっている. 表 1 は, 単結晶ダイヤモンド工具加工面と導電性ダイヤモンド工具加工面の算術平均粗さ Ra , 最大高さ粗さ Rz を示す.

図 3 は, SUS304 の被削材に対するバニシング加工後の算術平均粗さ Ra と最大高さ粗さ Rz を示す. 切削後の算術平均粗さ Ra と最大高さ粗さ Rz はそれぞれ $Ra=1.171\mu\text{m}$, $Rz=6.967\mu\text{m}$

であった. このグラフから, 開発した導電性ダイヤモンド工具は, 単結晶ダイヤモンド工具と同様に正常に加工が行えていることがわかる. また, SUS304 の被削材に対しては, 単結晶ダイヤモンド工具と比較するとやや工具性能は劣ることがわかる.

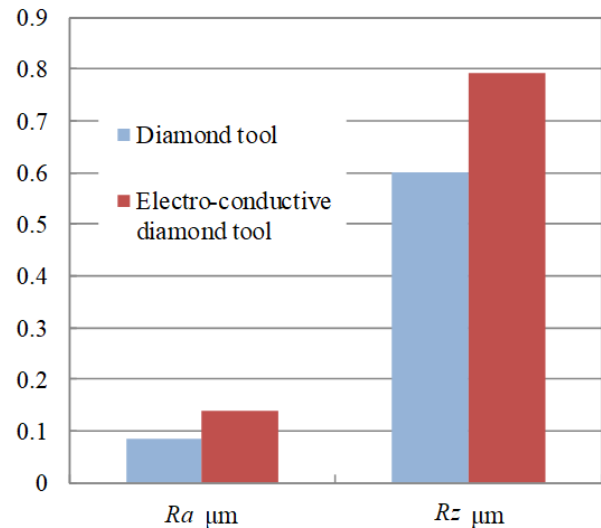
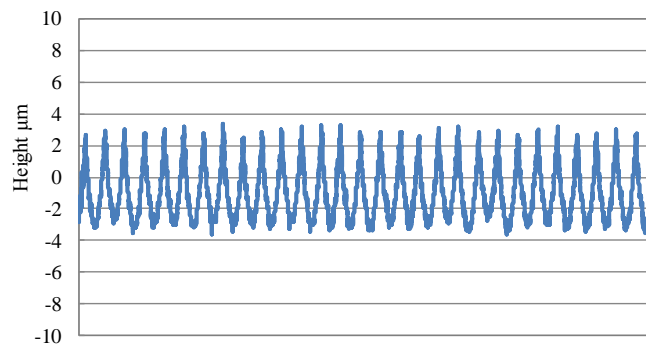
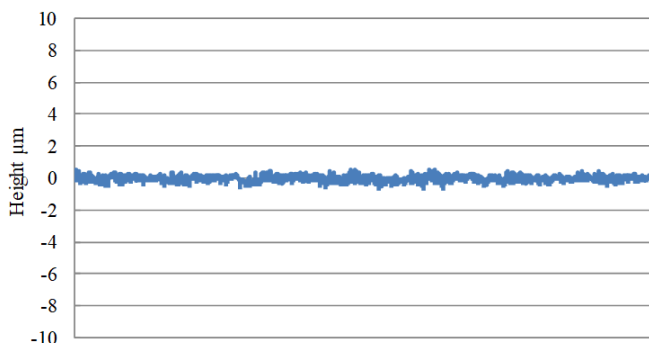


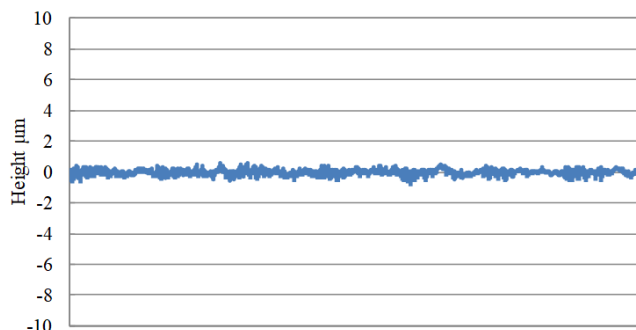
Fig.3 Surface roughness after burnishing (Stainless steel)



Distance μm
(a) Cutting



Distance μm
(b) Burnishing (Single crystal diamond tool)



Distance μm
(c) Burnishing (Electro-conductive diamond tool)

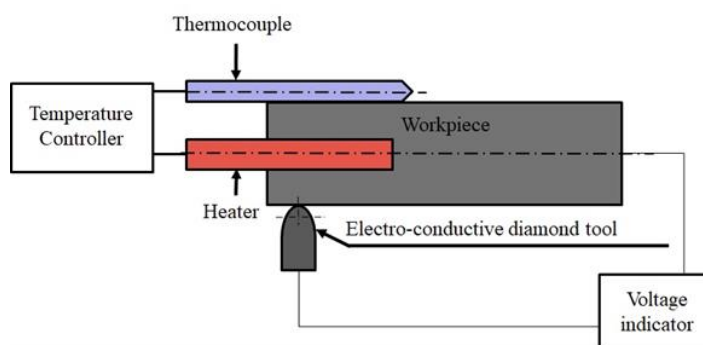
Fig.4 Roughness curves after cutting and burnishing

図4は、SUS304の被削材に対する切削後(a)、バニシング加工後(単結晶ダイヤモンド工具(b)、導電性ダイヤモンド工具(c))の粗さ曲線を示す。この結果から、単結晶ダイヤモンド工具と比較するとやや工具性能は劣るが、バニシング工具としての性能は十分であることがわかる。

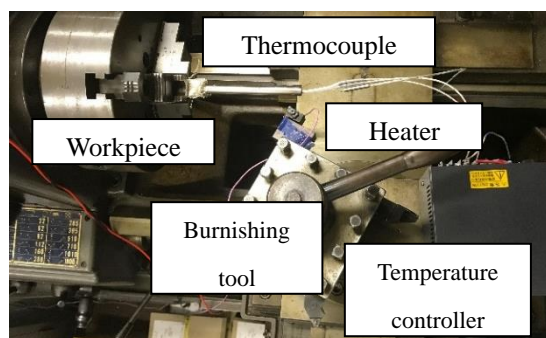
3. 実験結果と考察

3.1 校正実験

製作したCVDダイヤモンド製の導電性バニシング工具をもちいてバニシング加工時の温度を測定するために、まず熱起電力の測定を行い校正曲線の推定を試みた。図5に校正実験の装置校正を示す。汎用旋盤に絶縁遮熱シヒーターを内蔵した工作物を装着し、PID温度制御装置によってステンレス製工作物(SUS304)を加熱する。規定の温度に達したらバニシング工具を押しつけ、その時の熱起電力を測定した。測定は摂氏100度から300度まで50度刻みで行った。基準接点は室温とし摂氏22度であった。測定結果を図6に示す。今回作成した校正曲線は、使用した電圧計の分解能が大きいため、精度の低い結果となった。電圧計のばらつきもあるが、摂氏100度で約0.2mV、摂氏300度で約0.8mVとなった。グラフより比較的線形な熱起電力特性を示していると言える。



(a) Experimental method of temperature calibration



(b) Experimental setup

Fig. 5 Calibration experiment apparatus

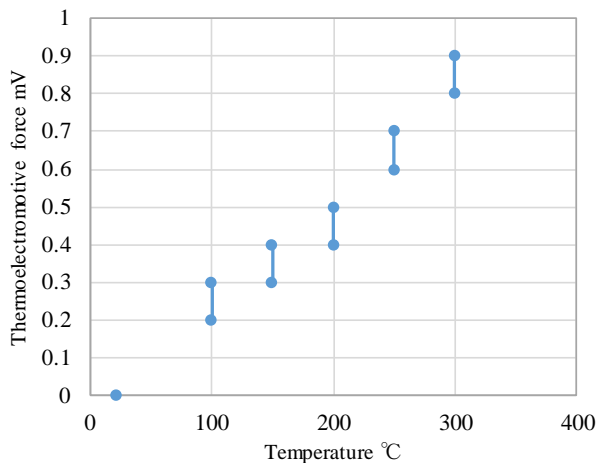


Fig.6 Relationship between thermoelectromotive force and temperature

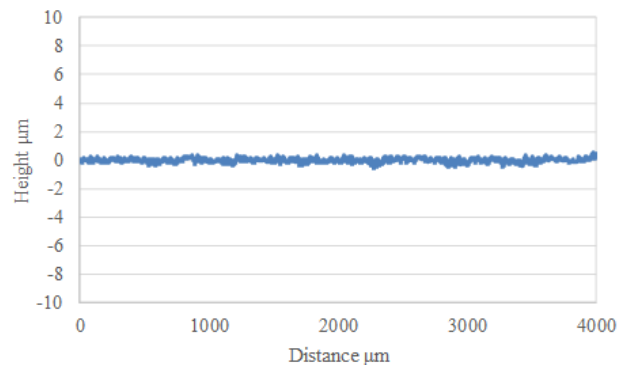
3.2 SUS304 に対するバニシング加工温度

測定実験

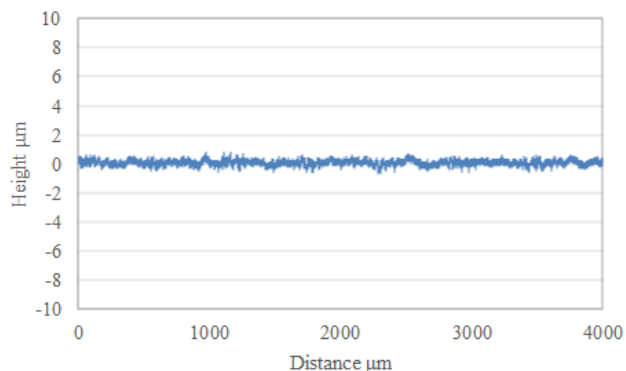
表 4 に被削材 (SUS304) に対し複数の条件下にてバニシング加工を行い, 加工時の温度を推定した結果を示す. 工作物回転数の増加に伴い温度が上昇していることが確認できる. 図 7 はそれぞれの工作物回転数ごとのバニシング後の輪郭曲線である. 温度上昇とともにわずかに表面性状の悪化が認められる.

4. 結言

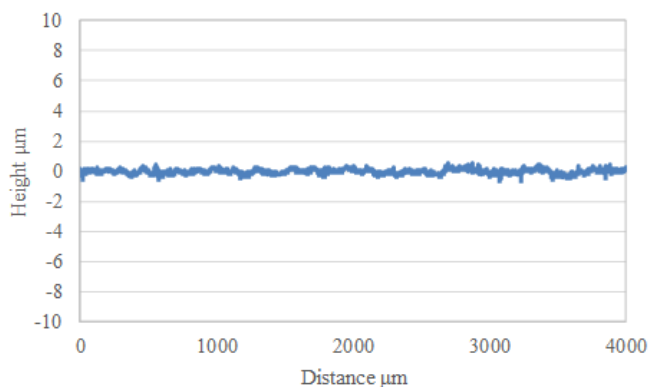
単結晶ダイヤモンド工具と同等の工具性能を有する導電性ダイヤモンド工具を開発し, 工具-工作物熱電対法によってバニシング加工時の温度を推定することができた.



(a) 395min⁻¹



(b) 510min⁻¹



(c) 710min⁻¹

Fig. 7 Roughness curves after burnishing

Table 4 Experimental results of tool temperature measurement

		Rotational speed			Burnishing force			Feed rate		
		min ⁻¹			N			mm/rev		
		395	510	710	32.5	37.5	42.5	0.059	0.97	0.139
Thermoelectromotive force	mV	1.2-1.4	1.3-1.5	1.6-1.8	1.2-1.4			1.2-1.4		
Estimated temperature	°C	430-510	460-530	550-640	430-510			430-510		

謝 辞

本研究の一部は公益財団法人天田財団一般研究開発助成によって行われた。関係諸氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) N.S.M. El-Tayeb., K.O. Low and P.V. Brevern, Influence of roller burnishing contact width and burnishing orientation on surface quality and tribological behavior of Aluminium 6061, Journal of Materials