

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01349

研究課題名(和文)窒化バナジウムを含有する高温潤滑複合コーティング膜の開発とその難削材加工への適用

研究課題名(英文) Development of VN(vanadium nitride)-containing coating film having high-temperature lubricity and its application to machining difficult-to-machine materials

研究代表者

細川 晃 (Hosokawa, Akira)

金沢大学・設計製造技術研究所・教授

研究者番号：40199493

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既存のPVDコーティング装置に“磁界ステアリング型アークプラズマ蒸発源”を増設して多層・複合膜の生成が可能な対向電極型アーク放電プロセス成膜装置を構築し、高温雰囲気での潤滑性と耐摩耗性に優れたVN/AICrN-複合膜(8層および116層)の創成を行った。構築した多層膜はVN膜と同様に高温領域で摩擦係数が減少するが、500℃まで常温硬度を維持しており、切削工具に適用できるレベルの潤滑性と耐熱性をもつことがわかった。その後、コーティングエンドミルによるプリハードン鋼の乾式切削を行った結果、高切削速度条件においても逃げ面摩耗幅が小さく、切削温度も低いことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではAIP法によってVN/AICrN-多層膜を創成した。VNコーティング膜は500℃以上の高温において表面に摩擦係数の低い酸化バナジウム層を形成する。他方、AICrNコーティング膜は高温下において表面に耐熱性の高い酸化アルミニウム層が形成される。したがって、VN膜とAICrN膜を多層化することで耐熱性と潤滑性を兼ね備えたコーティング膜となり、難削材(Ti合金、Ni基耐熱合金など)の切削加工の高速・高能率化が実現できる。また、本研究は膜種自体の特性と膜種に起因した反応生成物の複合作用で潤滑性、耐熱性、母材との密着性等に優れたコーティング膜を創成したものであり、学問的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：The multilayer coatings with lubricious VN and heat resistant AICrN are developed. According to the nanoindentation hardness, critical scratch load, and friction coefficient, the multilayer VN/AICrN-coated films have mechanical and tribological properties to comparable to those of the TiN, AICrN, and VN films. Owing to the formation of Magneli-phase oxides, the friction coefficient decreased as the temperature increased above approximately 500deg. The cutting forces of the VN-rich VN/AICrN-coated tools were lower than those of TiN and AICrN-rich tools, which were mainly caused by the tribological effect of the lubricious VN film. Meanwhile, the flank wear width of the multilayer VN/AICrN-coated tools were relatively small due to the higher hardness of the VN film. In addition, the cutting temperature of the VN/AICrN-coated tools were considerably lower than that of the VN-coated tool, indicating a synergetic effect for wear resistant AICrN and self-lubricating VN coating materials.

研究分野：工学 機械工学 生産工学・加工学

キーワード：PVDコーティング 窒化バナジウム 多層膜 マグネリ相 潤滑性 切削工具 エンドミル 工具摩耗

1. 研究開始当初の背景

ここ数年、航空・宇宙関連機器や発電機部品などを対象に、チタン合金やニッケル基耐熱合金などの難削材料の切削加工の要求が急増している。一般に、難削材の切削加工用としては、成膜効率に優れた①アークイオンプレーティング法(AIP法)によるTiCN, TiAlN, AlCrNなどのコーティング工具が主流となっている。これらは“母材に耐熱性を付与する”ことを目的としており、高い密着性に特徴がある。しかし、AIP法では基板表面にドロップレットを形成して平滑な膜ができず^[1]、それが一因となって、切削熱の増加、切りくずの凝着と剥離に起因する工具摩耗が課題となっている。これに対し、“母材に潤滑性を付与する”ことを目的として、②アンバランスドマグネトロンスパッタ法(UBMS法)【H22~23 科研費・挑戦的萌芽研究(22656037)】や^[2]、③フィルタードアーク蒸着装置(FAD法)【H24~26 年度科研費・基盤研究(B)(24360054)】によるコーティング膜の創成に関する研究を行ってきた^[3,4]。これらは、平滑性に起因する低摩擦係数等に特徴があり、切削熱の発生自体を抑制して耐摩耗性を得ようとするものである。しかしながら、高負荷加工や高速加工での適用には限界が生じ、『膜の平滑化による摩擦係数の低減だけでは不十分であり、抜本的な解決策が必要』との考えに至った。

このような背景により、研究代表者らは、“潤滑性”と“耐熱性”を併せもつ革新的なコーティング膜の必要性を強く感じ、本研究課題を申請して採択され、その研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究は、多層・複合膜の創成が可能な「対向電極型アーク放電プロセス」を構築し、バナジウム含有アルミクロム窒化物コーティング膜を創成することを目的としている。VNコーティング膜は500°C~700°Cの高温雰囲気において表面に摩擦係数の低い V_xO_{1-x} (酸化バナジウム)層を形成し、高い潤滑性を示す^[5]。他方、(Al, Cr)NなどのAlを含むコーティング膜は高温下において表面に耐熱性の高い Al_2O_3 (酸化アルミニウム)層が形成される。したがって、VN膜とAlを含有するTiAlN, AlCrN膜などを多層化・複合化すれば、耐熱性(高温硬度)と潤滑性を兼ね備えた革新的なコーティング膜となり、難削材(Ti合金, Inconel, Hastelloy, WaspaloyなどのNi基(超)耐熱合金など)の切削加工の高速・高能率化の実現が期待できる。本研究では、幾つかのVN/AlCrN-多層コーティングを創成し、その機械的・トライボ特性を明らかにするとともに、VN/AlCrN-多層コーティングエンドミルによる切削実験を行い、難削材切削への適用性を検証した。

3. 研究の方法

3.1 コーティング装置およびVN/AlCrN-多層コーティング膜の創成

現有のコーティング装置「AIP・FAD 置換型蒸着源: VACS-100」に対向させて『磁界ステアリング型アークプラズマ蒸発源: MF-ARC3』を増設した。図1に示すように、ターゲット金属(V, AlCr)を陰極として陽極との電極間で真空アーク放電を起こし、ターゲット金属を蒸発・イオン化させ、窒素ガスと反応させて負の電圧を印加した基板に窒化コーティング膜を堆積させる。増設した蒸発源は“直進型磁界フィルタ方式 (Rectilinear magnetic filtered arc deposition system)”である。これは、磁界を発生させることでイオン化した金属を経路の中心部に誘導する一方、荷電していないドロップレットは磁場の影響を受けないため経路途中の壁等にトラップされる。このため、直進型磁界フィルタ方式を用いることで成膜レートが向上するとともに、ドロップレット(溶滴)も減少する特徴を有している^[6]。

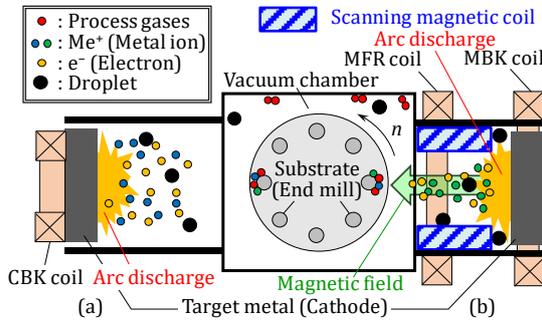


図1 対向電極型アーク放電プロセス成膜装置
(a) Normal source
(b) Rectilinear magnetic filtered source

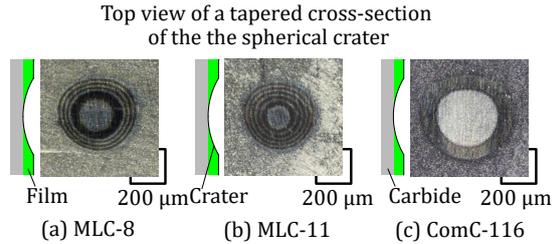
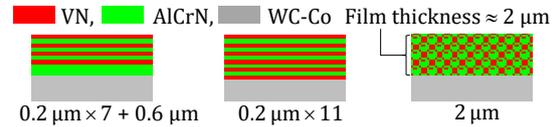


図2 VN/AlCrN多層膜の構造

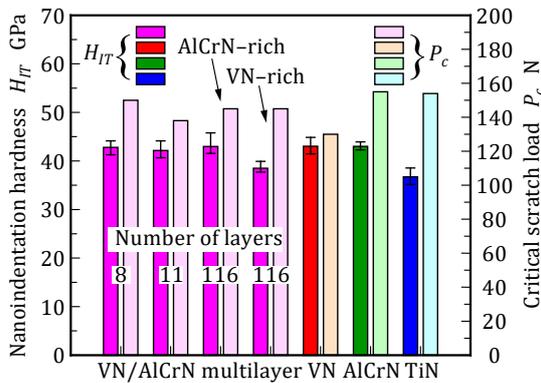


図3 VN/AlCrN, VN, AlCrN, TiNコーティング膜の微小硬さ H_{IT} とスクラッチ強度 P_c

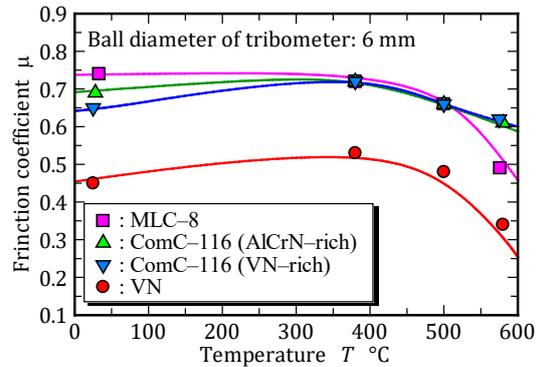


図4 VN/AlCrN, VNコーティング膜の摩擦係数の温度依存性(高温摩擦係数)

本研究では膜層数(膜厚)による膜特性への影響を検討するため、2種類のVN/AlCrN多層膜(MLC: Multilayer Coating)および2種類のVN/AlCrN多層複合膜(ComC: Composite Coating)の計4種類を作製した。図2はその内の3種類の膜構造を示したもので、上図は模式図、下図はコーティング試料に球状の圧痕を形成した表面の顕微鏡写真である。(a)が層数8の多層膜(超硬母材 - AlCrN (0.6 μm) - VN (0.2 μm) - ... VN (0.2 μm))、(b)が層数11の多層膜(超硬母材 - VN (0.2 μm) - AlCrN (0.2 μm) - ... VN (0.2 μm))で、最外層はすべて潤滑性のあるVN膜である。一方、(c)は層数116層の複合膜である。なお、2つの蒸発源の成膜レートの違いから直進型磁界フィルタ方式を用いた膜種の含有量が多くなる。4種類ともコーティング層の厚さは2 μmに設定した。

4. 研究成果^[7-9]

4.1 微小硬さ、密着強度および摩擦係数

図3に各種VN/AlCrN-多層膜のナノインデンテーション硬さ H_{IT} およびスクラッチ試験による臨界剥離強度 P_c を示す。比較のため、VN, AlCrN, TiN膜の特性も併せて示している。図にみるように、VN膜が $H_{IT} = 43$ GPaと最も硬度が高く、VN/AlCrN多層膜(MLC-8, ComC-116(AlCrN-rich))とAlCrN膜がほぼ同程度の硬さを有している。ComC-116(VN-rich)は若干硬度が低い、TiNと同程度であることから、コーティング工具として満足すべき硬度は有していると評価できる。

一方、スクラッチ強度をみると、すべてのVN/AlCrN多層膜でVN膜より大きく、AlCrN膜およびTiN膜より若干小さい。このことから超硬母材との界面はVNよりもAlCrNが適していると推察されるが、両方で大きな違いはないと言える。

図4はVN/AlCrN多層膜(MLC-8, ComC-116, VN)の摩擦係数の温度依存性を測定した結果であ

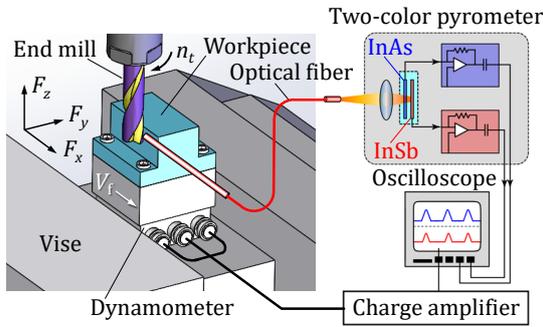


図5 実験装置および工具逃げ面温度測定法

表1 実験条件

Tool (Carbide)	φ6 mm, 2-flute square end mill	
Coating film	TiN-coating, VN-coating VN/AlCrN multilayer coating (MLC-8, Two types of ComC-116)	
Workpiece	STAVAX-Prehardened steel (378HV)	
Cutting speed	V_c [m/min]	100 – 250
Feed per tooth	f_z [mm/tooth]	0.015
Axial depth of cut	a_p [mm]	4
Radial depth of cut	a_e [mm]	0.6
Cutting style	Down cut, Dry	

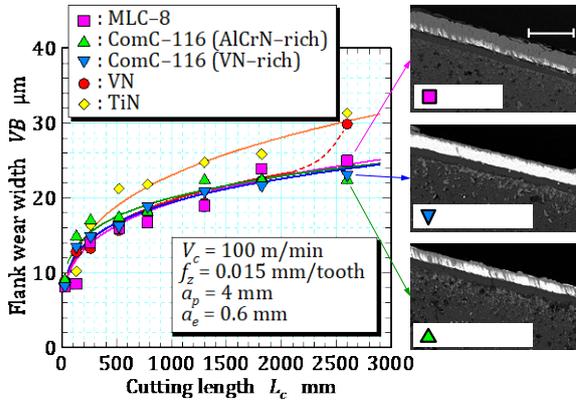


図6 切削距離と工具逃げ面摩耗の関係

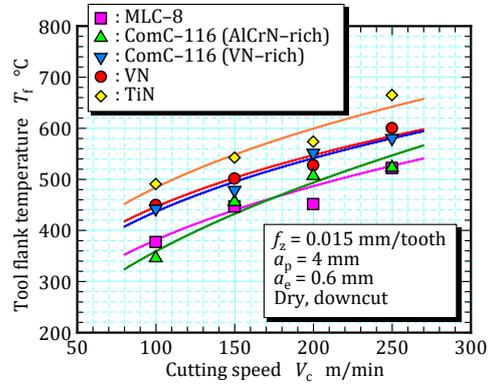


図7 切削速度と工具逃げ面温度の関係

図にみるように、VNと同様、MLC-8の摩擦係数は500°C以上で急激に減少していることがわかる。これは、膜表面にマグネリ層である酸化バナジウム(V_xO_{1-x})が形成されたためである。しかしながら、複合多層膜(ComC-116)の摩擦係数の減少はそれほど顕著ではない。これは、VNを含有する最外層の膜厚が20 nmと極めて小さいためと考えられる。

4.2 切削実験

微粒子超硬スクエアエンドミル(φ6mm, 2枚刃, ねじれ角 30°)にコーティングを施した。多層コーティング膜はMLC-8, ComC-116 (VN-rich)およびComC-116 (AlCrN-rich)の3種類で、単層のVNおよびTiNコーティング工具と比較している。切削実験には立形3軸マシニングセンタ(株式会社森精機製作所: NVD1500DCG)を使用し、STAVAX-プリハードン鋼 (JIS SUS420J2)の側面ミリング加工を実施した。実験装置の概略を図5に示す。切削性能は切削抵抗、逃げ面摩耗幅VBおよび切削時の工具逃げ面温度 T_f で評価した。工具温度の測定は光ファイバ型2色温度計を用いた。図5に示すように、切削開始地点から90°回転した位置に光ファイバを設置し、工具逃げ面がファイバ前方を通過する際に逃げ目からふく射される赤外線を受光することによって行っている。なお、切削実験は3種類の多層コーティング工具(MLC-8, ComC-116 (AlCrN-rich), ComC (VN-rich))と2種類の単層コーティング工具(VN, TiN)の計5種類を使用した。実験条件を表1に示す。

図6は切削速度 $V_c = 100$ m/minにおける切削距離 L_c と逃げ面摩耗幅VBの関係である。ここで、VBはコーティング膜の摩耗で母材が露出した部分と膜が擦り減った部位までの幅と定義している。図中、 $L_c = 2600$ mmにおける典型的なVN/AlCrN-多層膜の逃げ面摩耗の反射電子像を示す。白色の部分が露出した超硬母材、薄灰色の部分が凝着した工作物、濃灰色の部分がコーティング膜である。逃げ面摩耗をみると、両コーティングエンドミルともに切削距離 L_c の増加とともにVBが増加しているが、TiNコーティング工具の摩耗量が最も大きく、VN/AlCrN-多層膜

の摩耗量は比較的小さい。これは VN 膜の高硬度が起因している。ここで VN-コーティング工具に注目すると、 $L_c = 2600$ mm の段階までは摩耗幅は小さく推移しているが、 $L_c = 2600$ mm で急増している。これは、 $L_c = 2600$ mm の段階で切削温度が臨界値に達し、VN 膜が軟化したためと推察される。

図 7 に 5 種類のコーティング工具について、切削速度 V_c と工具逃げ面温度 T_f の関係を示したものである。図より、VN コーティング工具(●)は TiN コーティング工具(◆)に比べて切削温度が $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 低いことがわかる。これは図 4 に示すように、VN 膜は約 600°C 付近から摩擦係数が低下し、膜に潤滑性が付与されることによって切削熱の発生を抑制したと考えられる。

一方、MCL-8(■)および ComC-116 (AlCrN-rich) (▲)多層膜工具は VN 工具よりもさらに低い温度になっている。これは、VN の潤滑効果と AlCrN の耐熱効果の相乗効果と思われる。すなわち、図 4 からわかるように、これらの多層膜は 460°C 以上の高温においても膜硬さを維持しながら継続的に潤滑性に富むマグネリ酸化物相 V_xO_{1-x} が形成されたからと推察される。このことから、VN/AlCrN-多層コーティング工具は切削温度が高温になる難削材の切削に適していると言える。

4.3 得られた成果のまとめ

本研究では、多層・複合膜生成が可能な対向電極型アーク放電プロセス成膜装置を構築し、高温雰囲気中で潤滑性と耐摩耗性に優れる VN/AlCrN-複合膜の創成を行った。そして、創成したコーティング膜の機械特性を測定・評価するとともに、コーティングエンドミルによるプリハードン鋼の乾式切削を行い、VN/AlCrN-多層コーティング工具の切削性能を検証した。その結果、VN/AlCrN-多層膜はしばしば提案されているような“ナノ多層膜”ではなく、各膜種がある程度の膜厚をもつ多層化が重要であることが明らかになった。

以上の研究より、VN と AlCrN を組み合わせることによって高温における耐熱性と潤滑性を備えたコーティング膜の創成に成功しており、当初の目標は達成できたと考えている。

<引用文献>

- [1] Bouzakis, K.-D., Michailidis, N., Skordaris, G., Bouzakis, E., Biermann, D., M'Saoubi, R., "Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization", *Annals of the CIRP*, 61, 1 (2012), pp. 703-723.
- [2] Hosokawa, A., Shimamura, K., Ueda, T., "Cutting characteristics of PVD-coated tools deposited by Unbalanced Magnetron Sputtering method", *Annals of the CIRP*, 61, 1 (2012), pp. 95-98.
- [3] 齊藤 椋, 細川 晃, 古本達明, 小谷野智広, 橋本洋平, "高温高潤滑 VN(窒化バナジウム)コーティング膜の開発と切削への適用 —AIP 法および FAD 法による膜特性—", 2018 年度精密工学会北信越支部学術講演会講演論文集, C31, (2018), 2 pages.
- [4] Hosokawa, A., Hoshino, G., Koyano, T., Ueda, T., "Cutting characteristics of PVD-coated tools deposited by filtered arc deposition (FAD) method", *Annals of the CIRP*, 67, 1 (2018), pp. 83-86.
- [5] Fateh, N., Fontalvo, G. A., Gassner, G., Mitterer, C., "Influence of high-temperature oxide formation on the tribological behaviour of TiN and VN coatings", *Wear*, 262, 9-10 (2007), pp. 1152-1158.
- [6] Takikawa, H., Tanoue, H., "Review of Cathodic Arc Deposition for Preparing Droplet-Free Thin Films", *IEEE Transactions on Plasma Science*, 35, 4 (2007), pp. 992-999.
- [7] Saito, R., Hosokawa, A., Koyano, T., Furumoto, T., Hashimoto, Y., "Mechanical and tribological characteristics of VN and VN/AlCrN multilayer PVD coating films for cutting tools", *Proceeding of the 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT2019)*, M07, (2019), 4 pages.
- [8] Hosokawa, A., Saito, R., Ueda, T., "Milling characteristics of VN/AlCrN-multilayer PVD coated tools with lubricity and heat resistance", *Annals of the CIRP*, 69, 1 (2020). pp. 49-52.
- [9] 宇野高志, 細川 晃, 小谷野智広, 古本達明, 橋本洋平, "FAD 法による高温高潤滑 VN コーティング膜の開発と切削への適用", 2020 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集, C44, (2020), 2 pages.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 KOYANO Tomohiro, SUGATA Yuki, HOSOAKIWA Akira, FURUMOTO Tatsuaki	4. 巻 55
2. 論文標題 Micro-electrical discharge machining of micro-rods using tool electrodes with high electrical resistivity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 95-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2018.08.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 橋本洋平, 佐野智哉, 古本達明, 細川 晃	4. 巻 84
2. 論文標題 両面研磨シミュレーションに基づくウェハ挙動の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 188-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.84.188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KOYANO Tomohiro, HOSOKAWA Akira, TAKAHASHI Taishi, UEDA Takashi	4. 巻 68
2. 論文標題 One-process surface texturing of a large area by electrochemical machining with short voltage pulses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of the CIRP	6. 最初と最後の頁 181-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2019.04.100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 HASHIMOTO Yohei, SANNO Tomoya, FURUMOTO Tatsuaki, HOSOKAWA Akira	4. 巻 56
2. 論文標題 Development an identification method of friction coefficient between wafer and carrier in double-sided lapping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 364-369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2019.01.005	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 EGASHIRA Kyota, FURUMOTO Tatsuaki, HISHIDA Kiichi, ABE Satoshi, KOYANO Tomohiro, HASHIMOTO Yohei, HOSOKAWA Akira	4. 巻 13
2. 論文標題 Formation mechanism of pores inside structure fabricated by metal-based additive manufacturing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 330-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 HASHIMOTO Yohei, SANO Tomoya, FURUMOTO Tatsuaki, HOSOKAWA Akira	4. 巻 13
2. 論文標題 Estimation of material removal rate distribution considering workpiece attitude in double-sided polishing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 HOSOKAWA Akira, SHIMIZU Ryosuke, KIWATA Takahiro, KOYANO Tomohiro, FURUMOTO Tatsuaki, HASHIMOTO Yohei	4. 巻 13
2. 論文標題 Studies on eco-friendly grinding with extremely small amount of coolant -applicability of contact type flexible bluish nozzle-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 648-656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2019.p0648	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hosokawa Akira, Hoshino Goushi, Koyano Tomohiro, Ueda Takashi	4. 巻 67
2. 論文標題 Cutting characteristics of PVD-coated tools deposited by filtered arc deposition (FAD) method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CIRP Annals -Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 83 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2018.03.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hosokawa Akira, Yoshimatsu Haruki, Koyano Tomohiro, Furumoto Tatsuaki, Hashimoto Yohei	4. 巻 12
2. 論文標題 Turning of difficult-to-machine materials with an actively driven rotary tool (ADRT) - Proposition of reciprocating turning contingent on fundamental cutting characteristics-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koyano Tomohiro, Hosokawa Akira, Furumoto Tatsuaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Analysis of electrochemical machining process with ultrashort pulses considering stray inductance of pulse power supply	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koyano Tomohiro, Sugata Yuki, Hosokawa Akira, Furumoto Tatsuaki	4. 巻 55
2. 論文標題 Micro-electrical discharge machining of micro-rods using tool electrodes with high electrical resistivity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 95 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2018.08.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Yohei, Sano Tomoya, Furumoto Tatsuaki, Hosokawa Akira	4. 巻 13
2. 論文標題 Estimation of material removal rate distribution in double-sided polishing of thick square workpiece considering workpiece attitude	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Yohei, Sano Tomoya, Furumoto Tatsuak, Hosokawa Akira	4. 巻 56
2. 論文標題 Development an identification method of friction coefficient between wafer and carrier in double-sided lapping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 364 ~ 369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2019.01.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 OISHI Kazushi, FURUMOTO Tatsuaki, EGASHIRA Kyota, ABE Satoshi, HASHIMOTO Yohei, KOYANO Tomohiro, HOSOKAWA Akira
2. 発表標題 Relationship between spatter particle behavior and volume specific energy density in SLM process
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KOYANO Tomohiro, TAKABATAKE Masaaki, HOSOKAWA Akira, FURUMOTO Tatsuaki, HASHIMOTO Yohei
2. 発表標題 Surface texturing of tungsten carbide cutting tools by electrochemical machining
3. 学会等名 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OHURA Hiroki, FURUMOTO Tatsuaki, HASHIMOTO Yohei, HOSOKAWA Akira, KOYANO Tomohiro
2. 発表標題 Study on material property of dental hard tissue: Evaluation of non-carious lesion
3. 学会等名 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HASHIMOTO Yohei, ITO Takuma, NAKAYAMA Yugo, FURUMOTO Tatsuaki, KOYANO Tomohiro, HOSOKAWA Akira
2. 発表標題 Investigation on force acting on workpiece with respect to actual amount of abrasive media on the workpiece in dry gyro barrel finishing
3. 学会等名 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ITO Takuma, HASHIMOTO Yohei, NAKAYAMA Yugo, FURUMOTO Tatsuaki, KOYANO Tomohiro, HOSOKAWA Akira
2. 発表標題 Investigation of contact force between cylindrical workpiece and abrasive media in gyro finishing process
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SAITO Ryo Saito, HOSOKAWA Akira, KOYANO Tomohiro, FURUMOTO Tatsuaki, HASHIMOTO Yohei
2. 発表標題 Mechanical and tribological characteristics of VN and VN/AlCrN multilayer PVD coating films for cutting tools
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原佳月, 細川 晃, 小谷野智広, 古本達明, 橋本洋平
2. 発表標題 高压クーラントを用いた難削材の旋削加工 クーラント供給面の影響
3. 学会等名 2019年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木健士朗, 細川 晃, 長嶋拓海, 小谷野智広, 古本達明, 橋本洋平
2. 発表標題 超硬質工具による耐熱合金の高速エンドミル加工
3. 学会等名 日本機械学会第13回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Hosokawa, Yuki Nomura, Tomohiro Koyano, Tatsuaki Furumoto, Yohei Hashimoto
2. 発表標題 Turning of Difficult-to-machine Materials with High Pressure Coolant -Effect of coolant pressure on machinability of stainless steel-
3. 学会等名 International Conference on Precision Engineering (ICPE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taishi Takahashi, Tomohiro Koyano, Akira Hosokawa, Tatsuaki Furumoto, Yohei Hashimoto
2. 発表標題 Micro Texturing by Electrochemical Machining with Short Voltage Pulses
3. 学会等名 International Conference on Precision Engineering (ICPE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shota Tanaka, Akira Hosokawa, Goushi Hoshino, Tomohiro Koyano, Tatsuaki Furumoto, Yohei Hashimoto
2. 発表標題 High-quality machining of CFRP with DLC-coated and diamond-coated end mills
3. 学会等名 International Conference on 2018 Machining, Materials and Mechanical Technologies (IC3MT) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水亮輔, 細川 晃, 小谷野智広, 橋本洋平, 古本達明
2. 発表標題 極微量クーラント研削法 - 接触式フレキシブルブラシノズルによる砥石表面クーラントベルトの生成 -
3. 学会等名 2018年度砥粒加工学会学術講演会(ABTEC2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤 椋, 細川 晃, 古本達明, 小谷野智広, 橋本洋平
2. 発表標題 高温高潤滑VN(窒化バナジウム)コーティング膜の開発と切削への適用 - AIP法及びFAD法による膜特性 -
3. 学会等名 2018年度精密工学会北陸信越支部学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

金沢大学 研究者情報 https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=2786&page=1&org1_cd=730000 金沢大学 理工学域機械工学類 生産加工システム研究室 http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp 金沢大学設計製造技術研究所 http://amti.w3.kanazawa-u.ac.jp/research/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小谷野 智広 (KOYANO TOMOHIRO) (20707591)	金沢大学・機械工学系・准教授 (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古本 達明 (FURUMOTO TATSUAKI) (60432134)	金沢大学・設計製造技術研究所・教授 (13301)	
研究分担者	橋本 洋平 (HASHIMOTO YOHEI) (30456686)	金沢大学・機械工学系・助教 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関