

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「イオンビームを用いたアルミ鋳造合金用切削工具のナノスケールでの
表面処理による切削性向上」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 近 畿 経 済 産 業 局

委託先 財団法人 素形材センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論	6
2-1 耐溶着性ナノスケール表面処理の開発	6
2-2 イオンミリング装置での効率的なミリング条件の開発	11
2-3 テストワーク切削による性能評価	17
2-4 水溶性切削油温度と切削性の研究	29
第3章 全体総括	33
3-1 研究開発成果のまとめ	33
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	33

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の背景・目的

自動車部品等のアルミニウム化が進む中、切削工具刃先をイオンビームによるナノスケールでの表面処理を行うこと等により、アルミ鋳造合金の高速・高精度加工技術を確立し、アルミニウム合金の効率的な切削とコスト面でのメリットを生み出し、アルミニウム化の更なる促進に貢献する。

(2) 研究の概要および目標

自動車の燃費向上には技術的な開発の他、車体重量の軽量化が大きな影響を及ぼす。この軽量化には近年、鋳鉄などで作製していた部品をアルミニウムに変更する動きがある。鋳鉄の比重は 7.21 であることに対して、アルミニウムの比重は 2.68 であるために軽く、軽量化にはインパクトが大きい。

しかし、材料それぞれには強みと弱みがあり、アルミニウムは鋳鉄よりも軽いことに加え、切削速度も速く加工条件も良いが、価格が鋳鉄の 3 倍と高価であるという弱みもある。

一般的に、自動車用エンジン部品として使用されるアルミニウム合金にはシリコンが含まれている。アルミニウムにシリコンを含有すると流動性が優れるために鋳型充填能がよく、かつ鋳造割れも生じないなど、鋳造性に関して利点がある。

しかし、切削加工においては、シリコン含有量が高いほど切削性が低下する。主な要因としては、溶融点が低い上に延性が大きいため、加工を施した面や工具の刃先に材料の溶着が生じやすいためである。また、合金に含まれるシリコンは工具の磨耗も促進させる。

本研究では、切削工具について、その刃先にイオンビームスパッタリングによるナノレベルの表面処理を施す際の最適化及び切削油温度の管理することにより、アルミ鋳造合金の溶着を抑制し、高速・高精度切削を可能にするとともに、刃先の長寿命化を実現する技術を開発する。

そのために、アルミニウム合金の切削速度を従来のドリルと比較して、切削速度 40%向上を目指し、この目標を達成するために、以下の4つのサブテーマを設定する。

① 耐溶着性ナノスケール表面処理の開発

イオンミリングを行う前に行う前処理方法及び最適なイオンミリング処理方法を検討し、イオンミリング処理後の表面粗さ Ra が 10nm 未満 ($Ra < 10nm$) となることを目指す(従来の砥石研磨の場合: $Ra > 50nm$)。

② イオンミリング装置での効率的なミリング条件の開発

切削工具の刃先を多数本同時にイオンミリング処理できる治具を開発し、イオンミリング処理費として切削工具1本当たり 4,000 円以下を目指す。

③ テストワーク切削による性能評価

【基礎試験】

現状(イオンミリング処理を施していない切削工具を使用した場合)の切削速度から、30%上げた条件にて、イオンミリング処理を施した切削工具と施していない工具について、実験ベースで切削試験を行う。この条件においても、従来の切削工具と同等以上の寿命が実現することを目指す。

【実証試験】

現状（イオンミリング処理を施していない切削工具を使用した場合）の切削速度から、30%上げた条件にて、イオンミリング処理を施した切削工具と施していない工具について、実機ベースで切削試験を行う。この条件においても、従来の切削工具と同等以上の寿命が実現することを目標とする。

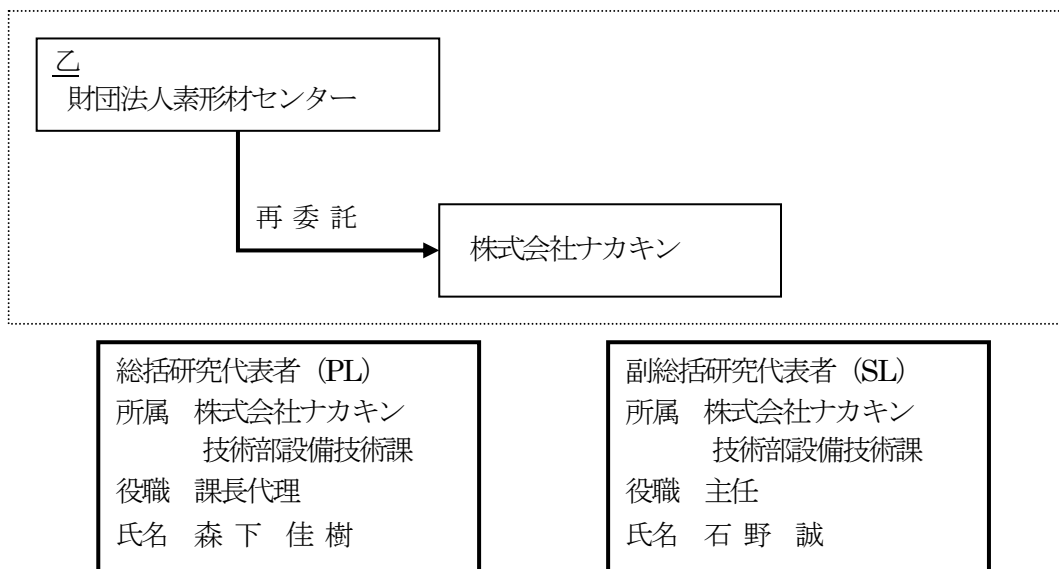
④ 水溶性切削油温度と切削性の研究

切削油温度を管理するための条件を検討する。このとき、現状(切削油の温度管理をしていない場合)の切削速度から10%上げた条件で、従来の切削工具と同等以上の寿命となることを目標とする。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

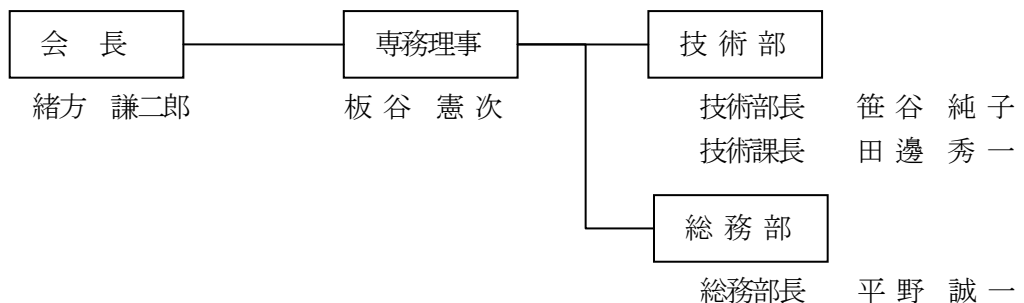
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

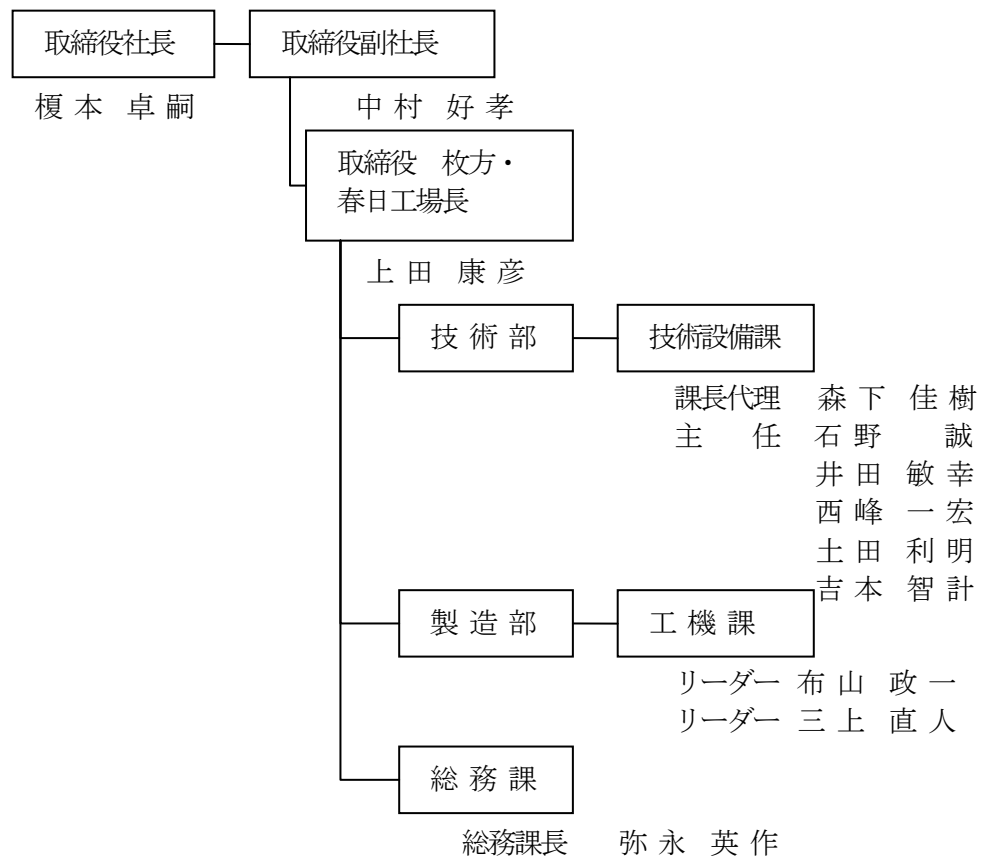
①事業管理者

[財団法人素形材センター]



② (再委託先)

[株式会社ナカキン]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人素形材センター

①管理員

氏 名	所 属・役 職	実施内容 (番号)
板 谷 憲 次	専務理事	⑤
笹 谷 純 子	技術部長	⑤
田 邊 秀 一	技術課長	⑤

【再委託先】 ※研究員のみ

株式会社ナカキン

氏 名	所 属・役 職	実施内容 (番号)
森 下 佳 樹	技術部設備技術課 課長代理	①②③④
石 野 誠	技術部設備技術課 主任	①②③④
井 田 敏 行	技術部設備技術課	①②③④
西 峰 一 宏	技術部設備技術課	①②③④
土 田 利 明	技術部設備技術課	③④
吉 本 智 計	技術部設備技術課	③④
布 山 政 一	製造部工機課 リーダー	③④
三 上 直 人	製造部工機課 リーダー	③④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人素形材センター

(経理担当者)	総務部長	平 野 誠 一
(業務管理者)	技術部長	笹 谷 純 子

(再委託先)

株式会社ナカキン

(経理担当者)	総務課課長	弥 永 英 作
(業務管理者)	取締役 枚方・春日工場長	上 田 康 彦

1-3 成果概要

(1) 耐溶着性ナノスケール表面処理の開発

Ra10nm 以下の鏡面処理を目標として研究開発を行った。超硬合金においては Ra20nm、DLC(Diamond Like Carbon)コーティング材においては Ra30nm レベル、PCD (Poly Crystalline Daimond)材においてはもともと硬度が高いためにイオンミリング処理を施してもほとんど効果がなく Ra80nm 程度にとどまったが、超硬チップ及び DLC コーティングにおいては確実に粗度が向上した。

窒素イオン注入により硬度を向上させる研究開発も行ったが、超硬チップにおいては 10%程度 PCD においては元々の硬度が高いためかほとんど変化が見られなかった。

(2) イオンミリング装置での効率的なミリング条件の開発

多数本同時に処理可能な治具を製作したことにより、1 本当りのイオンミリング処理費用は約 3,200 円～4,000 円となり、目標はクリアした。

実際のドリル刃へのイオンミリング処理に関しては、超硬ドリル刃では粗度が未処理で 100nm 前後であったのに対し、ミリング処理後には 40～15nm 程度まで改善した。DLC コーティングドリル刃についても同程度の効果が見られた。PCD ドリル刃に関してはチップ刃でのテストと同様に処理後もほとんど変化が見られなかった。

また、前処理研磨なしでイオンミリングを行い効果があるかを検証したが、粗度に関しては処理前

後でほとんど差は見られなかった。この結果よりイオンミリングの効果を出すためには、前処理研磨が有効であることがわかった。

(3) テストワーク切削による性能評価

DLC コーティングドリルにイオンミリング処理したものに関しては、切削条件を 30%UP させても耐久テスト終了後の刃先粗度は 100nm 程度であり、未処理のものが耐久後 400nm まで低下していることより効果があったと見られる。

超硬ドリルに関しては一部のドリルに関しては耐久テストで切削条件を 30%UP させても寿命が長くなったものがあったが、その他のものに関しては切削条件を 30%UP させた 1 ブロック加工のテストの段階で穴粗度や穴径が悪くなる傾向が見られた。

PCD ドリルに関してはイオンミリング処理の段階で効果が見られなかったのと同様に未処理刃物と同程度の結果となった。

(4) 水溶性切削油温度と切削性の研究

切削油温度を 25℃、20℃、15℃、10℃、5℃の 5 段階に分けてテスト加工を行った。結果として、僅かな差であるが 25℃及び 20℃の場合で刃先粗度が悪くなる傾向が見られた。また、耐久テストを切削油温度 25℃で切削条件を通常のもの、切削油温度 10℃で切削条件を 10%UP させたもので行った。刃先粗度に関しては、いずれの条件下でもほぼ良好な結果であった。しかし、穴径に関しては、25℃で切削した場合は耐久テストの終盤で穴の奥側の径が大きくなる傾向が見られたが、10℃で切削し、且つ切削条件を 10%UP した場合には比較的良好な結果を得ることができた。

以上の結果より、切削油温度は低い方が刃物の切削性が良いと見られる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人素形材センター（担当；技術部長 笹谷純子、技術課長 田邊秀一）

連絡先 Tel 03-3434-3907

Fax 03-3434-3698

Mail Address : mail@sokeizai.jp

第2章 本論

2-1 耐溶着性ナノスケール表面処理の開発

(1) 研究内容

①イオンミリング方法の確立

新品の切削工具（図1参照）において、刃先（図2参照）の表面粗さが粗いなど条件が悪く、イオンミリングで削ることができる能力をはるかに超える場合は、ナノスケールでの表面処理効果が発揮できないと推測される。そのため、イオンミリングを行う前の刃先の表面状態を光学顕微鏡にて確認し、最適な処理前の粗度を検証する。また、必要に応じてバフ研磨等をイオンミリング処理前に行う等の前処理方法も検討する。

次に、複合イオンビームスパッタ装置（IBS(A)（図3参照））を使用し、以下に示す3種の材質による平面形状の面加工用チップ類を、イオンビーム条件を変更させてイオンミリング処理を行い、その際の表面状態を高倍率顕微鏡あるいは走査型電子顕微鏡（SEM）で観察、表面粗さを計測して評価し、最適なイオンミリング処理の条件を検証する。

【試験用チップの材質】

- (a) 超硬合金（炭化タングステン）
- (b) PCD（超硬母材）
- (c) DLC コーティング材（超硬母材）

【条件】

- (a) アルゴンイオン 100～1000V 100mA
- (b) 面に対するビーム角度：5～45°
- (c) ビーム処理時間

以上により、イオンミリング方法を確立する。



図1 切削工具（例）



図2 刃先拡大図



図3 複合イオンビームスパッタ装置
(IBS(A))

②イオンミリングによるナノスケールでの鏡面化

イオンミリング処理前のイオン注入による表面硬度向上効果と、これのイオンミリング処理への影響を検証して、耐溶着性ナノスケール表面処理を更に高度化する可能性を検討する。

具体的には、イオンミリング処理前にプラズマイオン注入装置（PBII（図4参照））を用いて窒素イオン注入し、注入後の表面におけるビッカース硬度が、イオン注入未処理品に比べて1.5倍となることを目途に硬度を向上させることが可能か検証する。

さらに、2-1-①で検証したイオンミリング条件にて表面処理を行い、高倍率顕微鏡あるいは走査型電子顕微鏡（SEM）等で観察、表面粗さを計測し、イオン注入を行わない場合と比較する。

（２）研究成果

①イオンミリング方法の確立

イオンミリング処理前に行う前処理方法として、表面材質の異なるドリル刃の研磨時間を検討した。チップ刃を研磨しながら表面形状を確認して、効率的な処理時間を決定した。

次に、ドリル刃へのイオンミリング条件のパラメータのうち、入射角、処理時間を決定するために、チップ刃を用いて最適化条件の検索を行った。予備実験の結果から、加速電圧と加速電流について効率的な処理条件を導き出した。

この予備実験結果の処理条件を基に、イオンビームスパッタリングでのナノスケールでの表面処理加工条件の最適化を行った。なお、使用したドリル材料および装置は以下のとおりである。

- ・ドリル材料：超硬合金（炭化タングステン；K10、以降同様）
DLC コーティング材（超硬母材、以降は同様）
PCD（超硬母材、以降は同様）
- ・使用装置：イオンビームスパッタ装置（IBS）

表面処理されたドリル刃表面の微細な観察が行う必要があるため、空間分解能を向上させた測定方法として原子間力顕微鏡（AFM）を用いて観察した。最も表面粗さが向上した観察結果（ミリング処理；入射角 10° 、処理時間 10min）を表 1～3 に示す。



図 4 プラズマイオン注入装置（PBII）

表 1 超硬合金のチップ刃の粗さ解析値

	未研磨		研磨 100rpm, 15min		ミリング後 10deg, 10min	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
	0.0043	0.0509	0.0010	0.0300	0.0017	0.0275

表 2 DLC コーティング材のチップ刃の粗さ解析値

	未研磨		研磨 100rpm, 20min		ミリング後 10deg, 10min	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
	0.0095	0.2378	0.0067	0.1430	0.0034	0.0987

表 3 PCD のチップ刃の粗さ解析値

	未研磨		研磨 100rpm, 3min		ミリング後 10deg, 10min	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
	0.0073	0.0922	0.0081	0.0880	0.0078	0.0978

表 1～3 において研磨状態とミリング後の粗度が数値上では変化が少ないが図 5～7 の鳥瞰図と比較すると微細な凹凸が除去されているのが見られる。

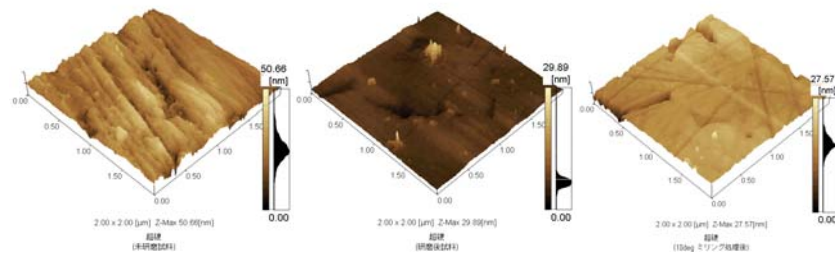


図 5 超硬合金チップ刃の表面形状
(左)研磨前、(中央)研磨後、(右)イオンミリング処理後

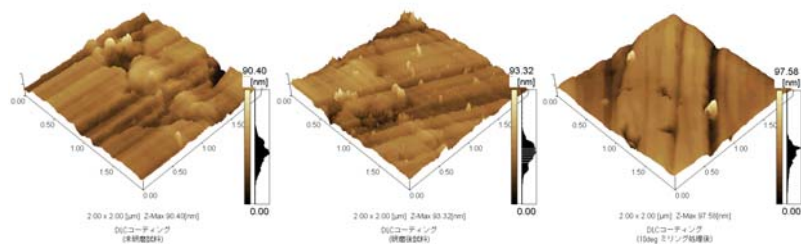


図 6 DLC コーティング材の表面形状
(左)研磨前、(中央)研磨後、(右)イオンミリング処理後

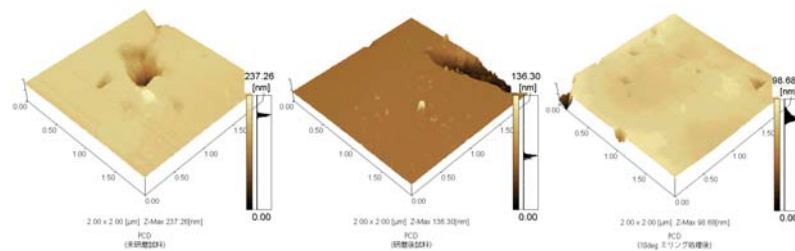


図 7 PCD の表面形状
(左)研磨前、(中央)研磨後、(右)イオンミリング処理後

表面粗さ計の測定結果と上記 AFM の観察結果とでは傾向が同じであるため、研磨＋イオンミリング処理によりドリルチップ刃表面の平坦化はできていると考えられる。次に、図 8～10 に示すように、ミリング処理まで行った試料の表面形状を SEM でも確認した。

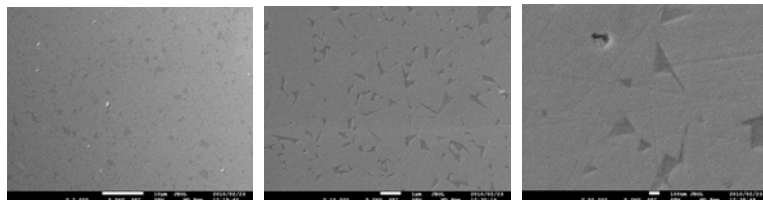


図 8 イオンミリング処理後の超硬合金ドリルチップ刃の表面形状
(左)×2000 倍、(中央)×10000 倍、(右)×50000 倍

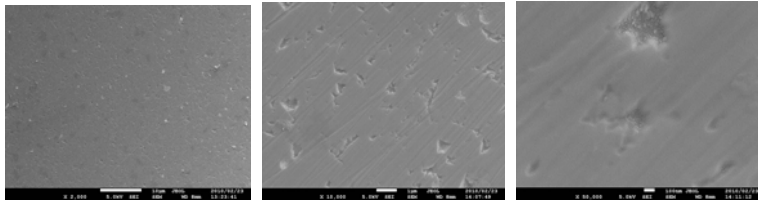


図9 イオンミリング処理後のDLC コーティング材のドリルチップ刃の表面形状
(左)×2000 倍、(中央)×10000 倍、(右)×50000 倍

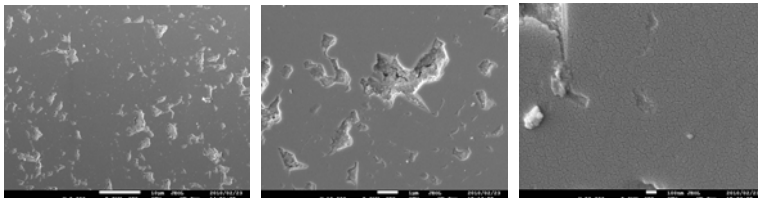


図10 イオンミリング処理後のPCD のドリルチップ刃の表面形状
(左)×2000 倍、(中央)×10000 倍、(右)×50000 倍

3 種類の試料とも試料表面にランダムに凹みが見られるが、最表面は平らになっており、AFM の結果とも相関が取れている。

以上の試験結果より、イオンミリングは入射角が 10° 、処理時間 10 分の場合で、且つ処理前の研磨を組み合わせることによって、超硬合金においては $Ra20nm$ 、DLC コーティング材においては $Ra30nm$ レベル、PCD においては表面硬度が高いためにイオンミリング処理を施してもほとんど効果がなく $Ra80nm$ 程度にとどまったが、超硬合金チップ及び DLC コーティング材においては、表面粗さが向上することがわかった。

②イオンミリングによるナノスケールでの鏡面化

ドリル刃の切削速度向上と耐久性向上のための方法として、ドリル刃表面の硬度を向上させる手法が考えられる。今回は PBII(Plasma Based Ion Implantation)法を用いて、チップ刃表面に窒素(N)を注入し、硬度を上昇させるテストを行った。使用したドリル材料および装置は以下のとおりである。なお、DLC については、DLC 膜が $100nm$ と薄いため、DLC 膜のみの硬度を測定することができないため、本試験からは除外した。

- ・ドリル材料：超硬合金
PCD
- ・使用装置：プラズマイオン注入装置 (PBII)

表 4 に超硬合金のビッカース硬度計による測定結果を示す。

表 4 超硬合金のビッカース硬度計による測定結果(単位は HV)

ビッカース硬度		
	未処理部	N注入部
P1	1800	1969
P2	1687	1925
P3	1723	1800
平均値	1737	1898

また、PCD は硬すぎてビッカース硬度計では測定できなかったため、ナノインデンテーション法により硬度を測定した。使用装置は下記のとおりである。

- ・使用装置 ナノインデンテーション部： Tribo Scope (Hysitron 社製)
ベース(AFM 部)： SPM-9500J (島津製作所社製)

分析箇所は試料表面中央付近を 5 点以上測定した。何らかの要因(接触時の圧子のすべり、ゴミの付着など)で大きく外れた測定結果を除いた 5 回測定の試料と圧子との剛性モジュラス(Er)と硬度(Hardness)の解析結果とその平均値を結果とする。今回の PCD コーティング材のドリルチップ刃のポアソン比はダイヤモンドのポアソン比：0.1 を用いて、試料のヤング率(E)を求めた。結果を表 5 に示す。

表 5 PCD チップ刃のヤング率を含めた測定結果

	N-impla PCD		
	Er [GPa]	E [GPa]	Hardness [GPa]
#01	581.5	1168.1	85.34
#02	560.3	1084.8	81.82
#03	612.5	1301.7	83.97
#04	620.1	1336.9	90.24
#05	592.7	1214.6	71.55
平均	593.4	1221.2	82.58

ダイヤモンドの硬度がビッカース硬度で約 9000HV となり、ビッカース硬度とナノインデンテーションで求めた硬度との関係は $1000\text{HV} \approx 10\text{GPa}$ となる。ビッカース硬度測定とナノインデンテーションは硬度を求めるという意味では同じ測定であるが、圧子の接触面積と投影面積とで用いるパラメータが異なるので、正確に比較できるわけではないが、およそこの関係が成り立つ。

ダイヤモンドの場合は硬いので今回の試験条件では最大押し込み深さが約 30nm となった。この押し込み深さが約 1nm 変化すると硬度値で 10GPa 程度変化することも確認している。

PCD のチップ刃表層のダイヤモンドのヤング率は 1000GPa 程度なので、ヤング率から確認しても N 注入による変化は確認できなかった。

この結果からもわかるように、超硬合金および PCD とともに N 注入による刃先の硬度向上が見込めないため、ドリル刃への N 注入は行わないこととした。

(3) 耐溶着性ナノスケール表面処理の開発まとめ

イオンミリングによってドリル刃の表面粗さを Ra10nm 以下の鏡面にすることを目標として研究開発を行った。イオンビームの加速電流、加速電圧、入射角、処理時間など変化させて処理を行ったが、処理時間などを長くしても逆に粗度を荒らす傾向もみられ目標とする数値までは、到達できなかった。しかし Ra 値では分かりにくい、AFM 及び SEM での表面観察ではイオンミリング処理を施した場合に表面の凹凸が確実に減少していることが確認できた。

被加工材の表面粗さとしては、超硬チップにおいては Ra20nm、DLC コーティング材においては Ra30nm レベル、PCD においてはもともと硬度が高いためにイオンミリング処理を施してもほとんど効果がなく Ra80nm 程度にとどまったが、超硬合金及び DLC コーティング材においては確実に粗度が向上した。

窒素イオン注入により硬度を向上させる研究開発も行ったが、超硬チップにおいては 10%程度 PCD においては元々の硬度が高いためかほとんど変化が見られなかった。

2-2 イオンミリング装置での効率的なミリング条件の開発

(1) 研究内容

①イオンミリングに最適な治具・ステージの開発

イオンミリングでは低角度でのビームによって微小な凹凸を除去できる。そこで、イオンビームスパッタ (IBS) 装置のアシストガンを利用して約φ15cm の低加速ビームを、超硬ドリル刃先端部の切削面に対して低角度でスパッタリングするように保持できる治具を開発する。

このとき、治具は、2-1-①で得られた材質ごとの最適なイオンミリング処理と同等の処理を切削工具に施せるようなものとする。

②複数本同時にイオンミリング可能な治具・ステージの開発

φ15cm のビームには複数の工具を同時処理する能力があると思われる。そのため、2-2-①と同様の条件で、かつ複数本同時にイオンミリングが行える治具を開発することによりコストを抑えたイオンミリングを実現する。

具体的には 10~20 本同時にイオンミリングを行うことにより、1 本当たりのイオンミリング処理費を 4,000 円以下に抑えることを目指す。

③最適なイオンミリング条件の確立

2-1 で得られたイオンミリング条件を基に、現在量産ラインで使用している下記 3 種類の材質の切削工具について、2-2-①及び②で開発した治具を用いて複数本同時にイオンミリングする。

処理表面の状態を、高倍率顕微鏡あるいは走査型電子顕微鏡 (SEM) 等で観察、表面粗さを計測し、効率的にミリングされていることを検証する。

検証用に使用する切削工具材料は、以下のとおりである。

- ・超硬合金
- ・PCD
- ・DLC コーティング材

(2) 研究成果

①イオンミリングに最適な治具・ステージの開発

2-1-①で求められた結果より、イオンミリングに最適なビームの入射角は 10 度であるため、IBS (A) 装置内に刃先端角度 (120 度~140 度) を考慮して、10~20 度の傾斜可能な治具が必要となる。図 11~12 に、IBS (A) の可動軸の状況を示す。



図 11 IBS (A) 可動軸①

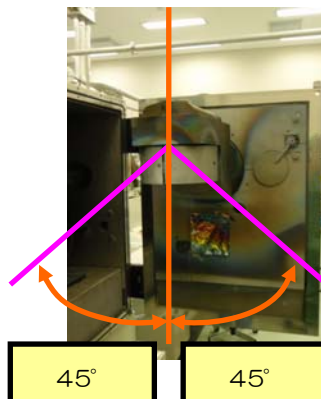


図 12 IBS (A) 可動軸②

②複数本同時にイオンミリング可能な治具・ステージの開発

前項の①の条件を踏まえて、下記項目に留意して図 13 に示すような治具製作した。

- i チャンバ内で 45° 傾斜可能な大きさとする。

Ans. チャンバ内の図面より治具の最大径を $\phi 200$ mm と設定。高さ方向に関しては刃物の長さから必要最小限に抑えることにより対応。

- ii 治具取付け部分から下に 15mm～45mmの部分が処理領域となるため、刃先が領域内に納まるような高さとする。

Ans. 刃物高さを基に治具高さを検討した。また、ホロセットにより刃物高さを 20 mm 程度調整できるようにした。

- iii イオンミリング処理費用を 1 本当たり 4,000 円以下とするために、刃物を 17 本以上取付け可能な治具とする。

Ans. $\phi 9$ mm、10mm、 $\phi 12$ mm 用 IBS (A) 治具は 21 本セット可能

1 日 4 バッジのイオンミリング処理が可能であるため

(処理費用 27 万円/日 $\div$ 4 バッジ) $\div$ 21 本 $\approx$ 3,215 円/本

$\phi 16$ 用 IBS (A) 治具は 17 本セット可能

(処理費用 27 万円/日 $\div$ 4 バッジ) $\div$ 17 本 $\approx$ 3,970 円/本

- iv 治具固定が M12 ボルト 1 本であるため、治具を軽量化する。

Ans. 円盤部分の材質にアルミを使用し、支柱に関しては SUS を使用することにより、径を細くして軽量化を図った。また、更なる軽量化のために図 24 のように治具下側部品の中央部分の余肉削除を行った。

- V 刃物をセットした際に、対角線上にイオンビームを遮る障害物がないこと。

Ans. 対角線上にならないように、図面上の上半分と下半分をそれぞれ $\phi 9$ mm～ $\phi 12$ mm 用 IBS (A) 治具は 7.5 度、 $\phi 16$ 用 IBS (A) 治具は 10 度ずらし、イオンビームを遮らず、多くの本数をセットできるようにした。

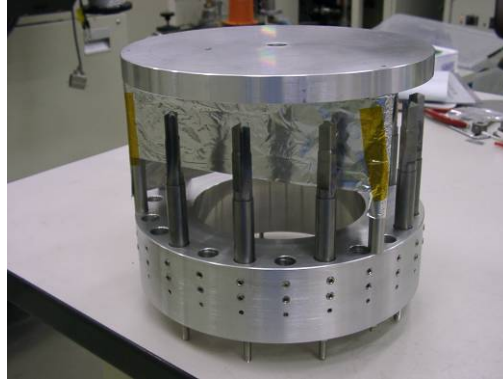


図13 IBS (A) 治具

③最適なイオンミリング条件の確立

ドリル刃の刃先への平坦化を研磨とイオンミリング処理で実施した。ドリル刃は、表 6 に示すような 10 種類、各 10 本研磨した。

表 6 ドリル刃の形式番号

形式番号	刃先材料
NB039-01	超硬合金
NT073-45	
NB098-17	
NB077-32	
NB100-26	
NB100-21	
DSC850FQNA	
DLCDR 9.0	DLC コーティング材
NB100-20	PCD
NB160-10	

研磨はドリル刃の刃先面と逃げ面を両面バフ研磨した。研磨面への固定は個人差が出ないように、作業員 1 名が全ての作業を行った。研磨時間は、ドリル刃片面につき 5～10 分とした。

③ー1 最適なイオンミリング条件の確立 1（研磨前処理あり）

試験に使用したドリル材料と装置は、以下のとおりである。また、装置へのドリル取付け状態を図 14 に、ドリル+治具の装置への取付けを図 15 に示す。

- ・ドリル材料：超硬合金
DLC コーティング材
PCD
- ・使用装置：イオンビームスパッタ装置（IBS（A））

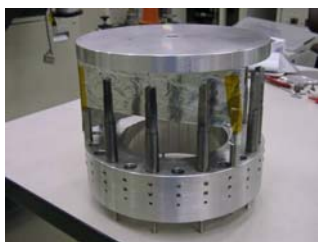


図 14 治具へのドリル取付け

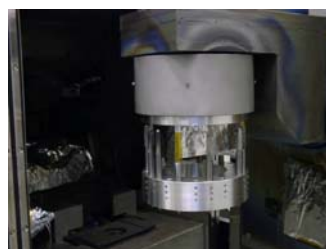


図 15 ドリル+治具の装置への取付け

各種類のドリル刃について、研磨前後とイオンミリング処理後における刃先の表面形状をレーザー顕微鏡(キーエンス：VK-9710)で観察した結果について、解析した表面粗さ結果(Ra と Rz)を表 7～16 に示す。

表中の#1 はドリル刃のチゼル付近、#2 は切れ刃中心付近、#3 は切れ刃エッジ付近になるように観察している。

表 7 超硬合金(NB039-01)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.107	1.961	0.076	2.666	0.033	1.647
#2	0.122	2.415	0.044	1.562	0.031	1.458
#3	0.127	2.170	0.026	1.425	0.058	1.763
Average	0.119	2.182	0.049	1.884	0.041	1.623

表 8 超硬合金(NT073-45)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.080	2.520	0.030	1.842	0.016	1.013
#2	0.078	2.106	0.029	2.170	0.017	2.897
#3	0.082	2.114	0.043	2.041	0.017	1.348
Average	0.080	2.247	0.034	2.018	0.017	1.753

表 9 超硬合金(NB098-17)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.109	2.377	0.020	1.272	0.026	1.075
#2	0.124	2.403	0.014	1.433	0.025	1.360
#3	0.110	2.587	0.016	0.836	0.019	1.030
Average	0.114	2.456	0.017	1.180	0.023	1.155

表 10 超硬合金(NB077-32)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.130	2.303	0.031	1.125	0.015	1.148
#2	0.122	2.586	0.067	1.481	0.015	0.733
#3	0.138	2.079	0.035	1.312	0.012	0.835
Average	0.130	2.323	0.044	1.306	0.014	0.905

表 11 超硬合金(NB100-26)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.069	1.944	0.025	1.863	0.046	1.503
#2	0.053	1.715	0.020	1.291	0.017	1.571
#3	0.060	2.146	0.027	0.837	0.024	1.123
Average	0.061	1.935	0.024	1.330	0.029	1.399

表 12 超硬合金(NB100-21)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.098	2.180	0.075	1.995	0.035	1.926
#2	0.093	2.188	0.056	1.723	0.045	1.710
#3	0.078	2.622	0.051	1.802	0.035	1.615
Average	0.090	2.330	0.061	1.840	0.038	1.750

表 13 超硬合金(DSC850FQNA)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.094	2.571	0.014	0.601	0.016	0.771
#2	0.100	2.402	0.012	1.101	0.008	0.367
#3	0.104	3.005	0.015	0.584	0.015	0.345
Average	0.099	2.659	0.014	0.762	0.013	0.494

表 14 DLC コーティング材(DLCDR 9.0)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.099	4.565	0.043	2.611	0.033	1.543
#2	0.082	5.607	0.028	1.547	0.031	1.532
#3	0.099	5.072	0.026	1.895	0.025	1.265
Average	0.093	5.081	0.032	2.018	0.030	1.447

表 15 PCD(NB100-20)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.250	3.950	0.295	3.498	0.315	3.704
#2	0.321	6.582	0.353	3.915	0.303	3.066
#3	0.438	6.385	0.315	3.982	0.290	3.813
Average	0.336	5.639	0.321	3.798	0.303	3.528

表 16 PCD(NB160-10)表面の未研磨、研磨後、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		研 磨 後		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.474	5.172	0.458	5.985	0.260	3.469
#2	0.265	2.597	0.474	5.383	0.231	3.065
#3	0.316	4.231	0.480	5.315	0.241	2.791
Average	0.352	4.000	0.471	5.561	0.244	3.108

③ー２ 最適なイオンミリング条件の確立２（研磨前処理なし）

前加工処理としての研磨加工なしで、イオンミリングだけのナノスケール加工で効果があるかを確認した。試験に使用したドリル材料と装置は、以下のとおりである。試験結果を表 17～20 に示す。

- ・ドリル材料：超硬合金（NT073-45、NB077-32、NB098-17）

PCD (NB100-20)

・使用装置 : イオンビームスパッタ装置 (IBS (A))

表 17 超硬合金(NB073-45)の切れ刃とバニシング面表面の未研磨、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.080	2.520	0.114	1.854
#2	0.078	2.106	0.098	1.354
#3	0.082	2.114	0.131	4.695
Average	0.080	2.247	0.114	2.634
バニシング面	0.229	4.163	0.245	2.907

表 18 超硬合金(NB098-17)の切れ刃とバニシング面表面の未研磨、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.109	2.377	0.111	1.906
#2	0.124	2.403	0.122	1.954
#3	0.110	2.587	0.135	2.266
Average	0.114	2.456	0.123	2.042
バニシング面	0.231	4.012	0.195	2.061

表 19 超硬合金(NB077-32)の切れ刃とバニシング面表面の未研磨、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.130	2.303	0.152	3.049
#2	0.122	2.586	0.160	2.028
#3	0.138	2.079	0.168	2.951
Average	0.130	2.323	0.160	2.676
バニシング面	0.206	4.876	0.195	2.069

表 20 PCD(NB100-20)の切れ刃とバニシング面表面の未研磨、イオンミリング処理後の解析結果

	研 磨 前		ミリング処理後	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.250	3.950	0.331	6.642
#2	0.321	6.582	0.402	21.177
#3	0.438	6.385	0.865	9.938
Average	0.336	5.639	0.533	12.586
バニシング面	0.068	2.381	0.045	0.981

(3) イオンミリング装置での効率的なミリング条件の開発まとめ

チップ刃で求められた処理条件を踏まえてドリル刃へのイオンミリングを行い、適切な処理時間を検証した。これにより超硬ドリル及び DLC コーティングドリルでは 15 分～30 分、PCD ドリルに関しては 60 分となった。また、多数本同時に処理可能な治具を製作したことにより、1 本当りのイオンミリング処理費用は約 3,200 円～4,000 円となり目標はクリアした。

実際のドリル刃へのイオンミリング処理に関しては、超硬ドリル刃では粗度が未処理で 100nm 前

後であったのに対し、ミリング処理後には 40～15nm 程度まで改善した。DLC コーティングドリルに関しても、同程度の効果が見られた。PCD ドリルに関してはチップ刃でのテストと同様に処理後もほとんど変化が見られなかった。

また、前処理研磨なしでイオンミリングを行い効果があるかを検証したが、粗度に関してはミリング処理前後でほとんど差は見られなかった。この結果よりイオンミリングの効果を出すためには前処理研磨が有効であることがわかった。

2-3 テストワーク切削による性能評価

(1) 研究内容

①加工後の刃先状態の確認

イオンミリング処理を施した切削工具と、施していない切削工具について、比較的小型の縦型マシンニングセンタ (BT30 (図 16 参照)) を用い、アルミ鋳造合金に 100～300 穴加工を施すテストワークを行う。

テストワーク後、それぞれの工具の刃先状態を高倍率顕微鏡にて観察し、溶着状態及び面の荒れ、チッピング状態を比較し、検証する。

なお、切削速度は、現状 (イオンミリング処理を施していない切削工具を使用した場合) と同じとする。

検証用切削工具の材質は、以下のとおりとする。

- ・超硬合金
- ・PCD
- ・DLC コーティング材

また、テスト加工用に供する被削材は、AC3A、AC2B、AC4B のいずれかを使用する。



図 16 縦型マシンニングセンタ (BT30)

②穴あけ精度の評価

2-3-①の穴加工において、イオンミリング処理を施した切削工具による場合と、施していない切削工具による場合について、穴径・粗度などを下記のポイントに留意し、確認・比較検証する。

- ・穴径に関しては定期的に測定し、穴径の変化の傾向を確認・検証する。
- ・粗度に関しては定期的にサーフテストにて測定し、その傾向を確認・検証する。

③高速切削テスト

2-3-①及び②における切削速度を、10%、20%、30%と段階的に上げてのテスト加工 (100～300 穴) を行う。それぞれの速度条件における加工穴径、粗度及び切削工具の刃先状態を確認等し、高速切削条件を検討する。また、この検討により得た高速切削条件にて耐久テストを行う。

なお、検証用切削工具の材質、テスト加工用の被削材は、2-3-①と同じとする。

④実生産ラインでの性能評価 (横型マシンニングセンタ・BT40 内部給油付)

アルミニウム化されたラダーフレーム加工ラインにて、横型マシンニングセンタ (BT40 (図 17 参照)) を使用して、テスト加工 (100～300 穴) を行う。

この際の切削条件は、現行のラダーフレーム加工でのものから、10%、20%、30%と段階的に速度

を上げて行うものとし、被削材をラダーフレーム（AC4B）、切削工具には②でイオンミリング処理を施したもので、その材質は、超硬合金と PCD コーティングのドリル刃とする。

加工した穴径、粗度及び切削工具の刃先状態から高速となる切削条件を検討し、良いと判断できた切削条件において耐久テストを行う。



図 17 横型マシニングセンタ (BT40)

(2) 研究成果

①加工後の刃先状態の確認、及び②穴あけ精度の評価③高速切削テストの評価に関して、各刃物で行った。

基礎試験での被削材には、実証試験で加工を行うラダーフレームと同様の AC4B-F を使用した。また、テスト方法としては 300mm×200mm×100mm のブロックを製作し、そこに連続的に穴あけを行った。まずは 1 ブロックに複数の穴開けを行い、刃具と被加工材を観察し、その結果を見て耐久テストを行うこととした。耐久テストでは、連続的に複数のブロックに穴開け加工を行い、その結果を評価した。以下に、ドリル材料毎の試験結果を示す。

i DCL コーティング材(DLCDR9.0)を用いた場合

- (ア)テスト条件
- | | |
|------|------------------------------|
| No1 | イオンミリング未処理刃物 |
| No30 | イオンミリング処理刃物 |
| No31 | イオンミリング処理刃物・切削条件 30%UP |
| No2 | イオンミリング未処理刃物・耐久テスト |
| No46 | イオンミリング処理刃物・耐久テスト・切削条件 30%UP |

(イ)テスト結果

①加工後の刃先状態の確認

No1 未処理刃物と No30 処理刃物は同条件で、テストピース片面（228 穴）加工を実施した。

No1 未処理刃物 (表 21)	刃先粗度は加工前後でも若干の低下である。刃先への溶着に関してはチゼル部分への溶着が多く発生していた。
No30 処理刃物 (表 21)	刃先粗度は#3 刃先エッジ付近において加工前よりも悪化しているが、全体的には No1 と同等の粗度である。溶着に関しても No1 と同等である。

表 21 DCL コーティング材(DLCDR9.0)の切削試験後の刃先表面粗さ

	No.1(未処理)		No.30(ミリング)		No.31(ミリング・加速)		No.2(未処理・耐久)		No.46(ミリング・耐久)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.051	3.247	0.054	17.366	0.119	4.411	0.371	4.995	0.101	12.399
#2	0.125	5.454	0.069	2.598	0.074	14.397	0.598	6.976	0.071	3.286
#3	0.116	3.367	0.165	3.726	0.161	14.637	0.402	4.731	0.040	1.840
Average	0.097	4.023	0.096	7.897	0.118	11.148	0.457	5.567	0.071	5.842
エッジ側面	0.577	5.595	0.126	10.237	0.118	10.065	0.237	15.202	0.113	2.243
バニシング面	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

②穴あけ精度の確認

No1 未処理刃物 (表 22)	粗度及び穴径ともに問題ないが、目視上では螺旋状のスジが薄っすらと入っており、刃先への若干の溶着の影響があると見られる。
No30 処理刃物 (表 23)	粗度及び穴径ともに問題なし。

表 22 No1 イオンミリング未処理刃物のテスト加工結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 1 (DLCD9.0)	8.986	1.2/7.6	8.988	0.9/6.6	8.990	1.7/11.4	8.990	1.5/9.2
S8000/F800	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数 228 ケ	8.991	1.5/10.2						
切削油濃度 10.5%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					8.990	2.1/12.8	Ra/Ry	

(備考) 表中ある、「径」の数値は加工した穴径(mm)、「粗度」のうち左の数値は Ra、右の数値は Ry を示す。以降同様。

表 23 No30 イオンミリング処理刃物のテスト加工結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 30 (DLCD9.0)	9.005	0.8/5.2	8.994	0.9/5.4	8.992	0.8/5.6	8.999	1.0/7.4
S8000/F800	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数 228 ケ	8.994	0.7/4.6						
切削油濃度 11.0%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					8.994	0.8/4.4	Ra/Ry	

③高速切削テスト

No31 処理刃物 (切削条件 30%UP) (表 24)	粗度及び穴径ともに問題なし。刃先粗度に関しては No30 と比較しても若干の低下でとどまっており、溶着に関しても同等である。
-------------------------------------	--

表 24 No31 イオンミリング処理刃物 (切削条件 30%UP) のテスト加工結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 31 (DLCD9.0)	8.992	0.5/3.4	8.990	1.2/10.6	8.991	0.7/4.8	8.992	0.5/3.2
S10000/F1040	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数 228 ケ	8.994	0.7/3.4						
切削油濃度 11.0%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					8.990	0.7/4.2	Ra/Ry	

以上の結果より、耐久テストを行い、下記のような成果を得られた。耐久テストは前述したように、複数ブロックでの加工テストであるが、テスト結果である表 25、表 26 は、複数ブロックのうち最後に加工したブロックの結果である。(以降、同様)

No2 未処理刃物 (図 18、表 25)	28 ブロック目において穴径は問題なかったが、粗度 Ra 及び Rz において処理刃物と比較して低下が見られ、表 25 の定期的に測定している以外の穴で粗度が悪くなる穴が頻発した。刃先粗度に関しても悪化傾向が見られる。
No46 処理刃物 (図 19、表 26)	穴径・粗度ともに問題なし。刃先粗度に関しては No31 とほぼ同等であり、28 ブロック加工後でも低下が見られない。



図 18 No2 最終ブロック加工穴



図 19 No46 最終ブロック加工穴

表 25 No2 イオンミリング未処理刃物の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50穴目 径	50穴目 粗度	100穴目 径	100穴目粗度	150穴目 径	150穴目粗度
No. 2 (φ9 ストレート)	8.994	1.4/8.4	9.003	1.4/9.0	9.000	1.8/10.4	8.979	0.9/6.2
S8000/F800	200穴目 径	200穴目 粗度	250穴目 径	250穴目 粗度	300穴目 径	300穴目 粗度	350穴目 径	350穴目 粗度
最終穴数228ヶ	8.989	1.2/8.0						
切削油濃度 12.5%	400穴目 径	400穴目 粗度	450穴目 径	450穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					8.998	0.9/6.4	Ra/Ry	

表 26 No46 イオンミリング処理刃物（切削条件 30%UP）の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50穴目 径	50穴目 粗度	100穴目 径	100穴目粗度	150穴目 径	150穴目粗度
No. 46 (φ9 ストレート)	9.000	1.1/6.8	8.993	0.9/5.0	8.990	0.8/4.0	9.001	1.2/8.4
S1000/F1040	200穴目 径	200穴目 粗度	250穴目 径	250穴目 粗度	300穴目 径	300穴目 粗度	350穴目 径	350穴目 粗度
最終穴数228ヶ	9.005	0.6/4.0						
切削油濃度 12.5%	400穴目 径	400穴目 粗度	450穴目 径	450穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					8.990	0.5/3.4	Ra/Ry	

以上の結果より、DLC コーティングを施した DLCDR9.0 の刃物に関してはイオンミリング処理を施すことにより、切削性向上及び工具寿命向上が見られた。

ii 超硬合金(NB077-32)を用いた場合

- (ア)テスト条件
- No3 イオンミリング未処理刃物
 - No19 イオンミリング処理刃物
 - No21 イオンミリング処理刃物・切削条件 30%UP
 - No4 イオンミリング未処理刃物・耐久テスト
 - No26 イオンミリング処理刃物・耐久テスト・切削条件 30%UP

(イ)テスト結果

①加工後の刃先状態の確認

No3 未処理刃物と No19 処理刃物は同条件で、テストピース片面（228 穴）加工を実施した。

No3 未処理刃物 (表 27)	刃先及びバニシングへの溶着が多いためか、テスト加工後の刃先粗度が大きく低下した。レーザー顕微鏡での測定漏れによりデータなし。
No19 処理刃物 (表 27)	目視上での刃先状態は No3 未処理刃物と同等の溶着が見られた。

表 27 超硬合金(NB077-32)ドリル刃の切削試験後の刃先表面粗さ

	No.3(未処理)		No.21(ミリング・加速)		No.4(未処理・耐久)		No.26(ミリング・耐久)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.847	26.863	0.552	13.409	0.455	25.915	1.154	24.038
#2	0.850	12.957	0.403	5.878	0.273	6.193	0.328	6.708
#3	0.770	6.502	0.720	13.142	0.696	14.626	0.449	12.173
Average	0.822	15.441	0.558	10.810	0.475	15.578	0.644	14.306
エッジ側面	0.274	13.380	0.203	2.683	0.471	3.683	0.352	4.248
パニシング面	0.212	4.597	0.216	2.958	1.043	22.523	0.257	3.350

②穴あけ精度の確認

No3 未処理刃物 (表 28)	穴径・粗度ともに問題なし。
No19 処理刃物 (表 29)	穴径は少し大きめになる穴があるがスペック内に収まっている。 粗度は 1~30 穴目ぐらいまでは若干白くなり粗度悪く見えるが測定上では問題なし。

表 28 No3 イオンミリング未処理刃物テスト加工結果

No. 3 (NB077-32) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 10.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
	7.707	1.9/12.4	7.710	2.5/13.8	7.710	0.4/1.8	7.706	0.5/2.8
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	7.711	1.7/4.2						
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					7.712	2.6/6.6	Ra/Ry	

表 29 No19 イオンミリング処理刃物テスト加工結果

No. 19 (NB077-32) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
	7.715	0.5/2.6	7.707	0.4/1.2	7.720	1.4/10.4	7.708	0.5/2.0
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	7.706	0.5/1.8						
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					7.705	0.4/1.6	Ra/Ry	

③高速切削テスト

No21 処理刃物 (切削条件 30%UP) (表 30)	1~50 穴目までは穴径が大きく、粗度も少し悪く見えるがスペック内に収まっている。以降は口元が粗度悪いものがあるが使用可能レベルである。190 穴以降は良好。刃先粗度に関しては低下が見られるが No3 未処理刃物よりは良い状態である。
-------------------------------------	---

表 30 No21 イオンミリング処理刃物 (切削条件 30%UP) テスト加工結果

No. 21 (NB077-32) S10000/F1040 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
	7.712	1.6/8.6	7.710	0.6/4.2	7.708	0.4/1.4	7.705	0.4/0.6
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	7.704	0.4/0.4						
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					7.703	0.4/1.6	Ra/Ry	

以上の結果より、耐久テストを行い、下記のような成果を得られた。

No29 未処理刃物 (図 20、表 31)	17 ブロック～20 ブロックにおいて穴径の表 31 での定期測定データでは明確な差がでていないが、その他の穴に関して穴径のバラツキ、粗度の悪化した穴が頻発した。刃先粗度に関しては No3 未処理刃物よりも良い状況であった。
No39 処理刃物 (図 21、表 32)	20 ブロックまで粗度・穴径とも問題なし。 但し、表 32 の 100 穴目の測定データは穴径・粗度ともに悪いが、これは鑄巣によるものと確認できている。刃先粗度に関しては#1 チゼル付近の粗度が大きく低下しているがその他の部分に関しては大きな低下は見られない。



図 20 No29 最終ブロック加工穴



図 21 No39 最終ブロック加工穴

表 31 No29 イオンミリング未処理刃物の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
No. 4 (NB077-32)	7.715	0.4/1.4	7.710		7.704	0.5/2.2	7.710	
S8000/F800	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数 228 ケ	7.706							
切削油濃度 11.0%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					7.703	0.4/0.8	Ra/Ry	

表 32 No39 イオンミリング処理刃物（切削条件 30%UP）の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
No. 26 (NB077-32)	7.708	0.4/1.2	7.711	0.4/1.8	7.733	2.5/15.2	7.713	0.4/1.2
S10000/F1040	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数 228 ケ	7.711	0.4/1.4						
切削油濃度 11.2%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					7.711	0.5/2.4	Ra/Ry	

以上の結果より超硬合金ドリル(NB077-32)の刃物に関しては、イオンミリング処理を施すことにより、切削性向上及び工具寿命向上が見られた。

iii 超硬合金(NB098-17)を用いた場合

- (ア)テスト条件 No6 イオンミリング未処理刃物
 No20 イオンミリング処理刃物
 No22 イオンミリング処理刃物・切削条件 30%UP

(イ)テスト結果

①加工後の刃先状態の確認

No6 未処理刃物と No20 処理刃物は同条件で、テストピース片面（228 穴）加工を実施した。

No6 未処理刃物 (表 33)	刃先への溶着に関しては NB077-32 よりはましではあるが発生していた。また、バニシングに関しても若干の溶着が見られた。 刃先粗度に関しては NB077-32 未処理刃物や DLCDR9.0 の未処理刃物と同等の粗度低下が見られた。
No20 処理刃物 (表 33)	刃先とバニシングへの溶着に関しては#3 刃先エッジ付近では No6 より若干ではあるが少なかったが、刃先粗度に関しては#1・#2 が大きく低下している。

表 33 NB098-17 ドリル刃の切削試験後の刃先表面粗さ

	No.6(未処理)		No.20(ミリング)		No.22(ミリング・加速)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	1.063	7.799	1.585	23.295	0.462	5.226
#2	0.203	6.469	1.284	27.825	0.529	7.256
#3	0.458	9.064	0.285	4.417	0.508	21.679
Average	0.575	7.777	1.051	18.512	0.500	11.387
エッジ側面	0.215	6.282	0.157	7.356	0.151	9.161
バニシング面	0.202	8.992	0.200	7.469	0.139	15.471

②穴あけ精度の確認

No6 未処理刃物 (表 34)	穴径・粗度ともに問題なし。但し、穴奥に薄っすらと螺旋状のスジがある。
No20 処理刃物 (表 35)	No6 と同様に螺旋状のスジが発生しているが No6 より発生頻度は少ない。 穴径・粗度ともに問題なし。

表 34 No6 イオンミリング未処理刃物テスト加工結果

No.6 (NB098-17) S8000/F800 最終穴数228ヶ 切削油濃度 10.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50穴目 径	50穴目 粗度	100穴目 径	100穴目粗度	150穴目 径	150穴目粗度
	9.810	0.4/0.8	9.810	0.5/1.2	9.810	0.4/0.4	9.806	0.5/1.6
	200穴目 径	200穴目 粗度	250穴目 径	250穴目 粗度	300穴目 径	300穴目 粗度	350穴目 径	350穴目 粗度
	9.808	0.4/1.4						
	400穴目 径	400穴目 粗度	450穴目 径	450穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					9.807	0.5/2.6	Ra/Ry	

表 35 No20 イオンミリング処理刃物テスト加工結果

No.20 (NB098-17) S8000/F800 最終穴数228ヶ 切削油濃度 11.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50穴目 径	50穴目 粗度	100穴目 径	100穴目粗度	150穴目 径	150穴目粗度
	9.816	0.8/5.6	9.807	0.4/0.6	9.808	0.4/0.8	9.809	0.4/1.4
	200穴目 径	200穴目 粗度	250穴目 径	250穴目 粗度	300穴目 径	300穴目 粗度	350穴目 径	350穴目 粗度
	9.807	0.4/0.6						
	400穴目 径	400穴目 粗度	450穴目 径	450穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					9.804	0.4/1.0	Ra/Ry	

③高速切削テスト

No21 処理刃物 (切削条件 30%UP) (表 36)	穴径・粗度ともに数値的には問題ないが、螺旋状のスジが No6、No20 よりも深く入っており、使用上は NG となるレベルであり、スジの影響で粗度 Rz が悪くなっている。テスト後の溶着に関しても多い状況であった。
-------------------------------------	---

表 36 No22 イオンミリング処理刃物（切削条件 30%UP）テスト加工結果

No. 22 (NB098-17) S10000/F1040 最終穴数228ヶ 切削油濃度 12.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
	9.811	0.9/4.2	9.804	0.4/2.0	9.805	0.8/4.6	9.802	1.5/8.4
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	9.804	0.8/3.8						
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					9.802	0.5/1.4	Ra/Ry	

以上の結果より、超硬合金(NB098-17)に関しては、加工条件を 30%UP させると溶着が激しくなり螺旋状のスジが深く発生したため、耐久試験は行わなかった。

iv PCD(NB100-20)を使用した場合

- (ア)テスト条件 No42 イオンミリング未処理刃物
 No43 イオンミリング処理刃物
 No44 イオンミリング未処理刃物・耐久テスト
 No45 イオンミリング処理刃物・耐久テスト・切削条件 30%UP

(イ)テスト結果

①加工後の刃先状態の確認

No42 未処理刃物と No43 処理刃物は同条件でテストピース片面（228 穴）加工を実施。

No42 未処理刃物 (表 37)	刃先への溶着は刃先の超硬部分のみに発生している。刃先粗度に関しては PCD の部分を測定した結果では粗度の変化は見られない。
No43 処理刃物 (表 37)	No42 と同様の結果であった。

表 37 PCD(NB100-20)ドリル刃の切削試験後の刃先表面粗さ

	No.42(未処理)		No.43(ミリング)		No.44(未処理・耐久)		No.45(ミリング・耐久)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.317	5.309	0.328	7.911	0.312	21.319	0.219	5.770
#2	0.413	10.131	0.263	12.446	0.346	20.001	0.324	24.593
#3	0.373	13.966	0.286	4.881	0.412	28.997	0.326	18.158
Average	0.368	9.802	0.292	8.413	0.357	23.439	0.290	16.174
エッジ側面	0.170	7.282	0.073	1.202	0.077	1.377	0.088	5.158
パニング面	0.062	2.768	0.026	1.020	0.023	0.705	0.033	1.696

②穴あけ精度の確認

No42 未処理刃物 (表 38)	100 穴目以降から粗度が若干低下しており、穴径が大きいものが少し発生している。
No43 処理刃物 (表 39)	穴径・粗度ともに問題なし。但し、170 穴～180 穴まで穴奥に少しスジが発生している。

表 38 No42 イオンミリング未処理刃物テスト加工結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 42 (NB100-20)	10.010	0.4/0.6	10.005	0.4/0.6	10.004	0.4/1.4	10.041	1.3/7.4
S6000/F600	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数228ヶ	10.021	0.6/3.4						
切削油濃度 11.8%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					10.005	0.9/5.4	Ra/Ry	

表 39 No43 イオンミリング処理刃物テスト加工結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 43 (NB100-20)	10.010	0.4/0.6	10.008	0.4/1.0	10.008	0.4/0.6	10.008	0.8/3.0
S6000/F600	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数228ヶ	10.010	0.4/0.8						
切削油濃度 11.8%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					10.009	0.4/0.8	Ra/Ry	

以上の結果より耐久テストを行った。

No44 未処理刃物 (表 40)	28 ブロック目まで加工を行ったが粗度・穴径ともに問題なし。
No45 処理刃物 (表 41)	同上

表 40 No44 イオンミリング未処理刃物の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 44 (NB100-20)	10.005	0.4/0.8	10.005	0.4/1.0	10.008	0.4/0.8	10.007	0.4/0.8
S10000/F1040	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数228ヶ	10.006	0.4/0.6						
切削油濃度 12.2%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					10.005	0.4/1.0	Ra/Ry	

表 41 No45 イオンミリング処理刃物 (切削条件 30%UP) の耐久テスト加工最終ブロック結果

	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目 粗度	150 穴目 径	150 穴目 粗度
No. 45 (NB100-20)	10.009	0.4/0.8	10.007	0.4/1.6	10.008	0.6/3.8	10.007	0.4/1.6
S10000/F1040	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
最終穴数228ヶ	10.007	0.4/0.4						
切削油濃度 12.2%	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度		
					10.007	0.4/0.6	Ra/Ry	

PCD の刃物においてはイオンミリング処理を施しても面粗度の変化がなかったのと同様に切削加工においても効果は見られなかった。

v 超硬合金(NB039-01)を用いた場合

- (ア)テスト条件 No13 イオンミリング未処理刃物
No15 イオンミリング処理刃物

(イ)テスト結果

- ①加工後の刃先状態の確認

No13 未処理刃物と No15 処理刃物は、同条件でテストピース片面（551 穴）加工を実施した。
 なお、穴加工結果が悪いため、レーザー顕微鏡での刃先粗度測定は行わなかった。

②穴あけ精度の確認

No13 未処理刃物 (表 42)	粗度は少し悪いがスペック内に収まっている。穴径もバラツキはあるがスペック内には収まっている。
No15 処理刃物 (表 43)	粗度は No13 と同程度であるが、穴径のバラツキは No13 よりましである。

表 42 No13 イオンミリング未処理刃物のテスト加工結果

No. 13 (NB039-01) S5000/F500 深 20 最終穴数 551 ケ 切削油濃度 11.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
	3.910		3.906		3.903		3.923	
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	3.971		3.902		3.955		3.901	
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	500 穴目 径	500 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度
	3.937		3.910		3.914		3.966	

表 43 No15 イオンミリング未処理刃物のテスト加工結果

No. 15 (NB039-01) S5000/F500 深 20 最終穴数 551 ケ 切削油濃度 11.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
	3.915		3.928		3.905		3.901	
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	3.902		3.901		3.902		3.928	
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	500 穴目 径	500 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度
	3.908		3.928		3.930		3.896	

③高速切削テスト

No17 処理刃物 (切削条件 30%UP) (表 44)	粗度が悪く、穴径も 0.1mm 以上大きくなるものが発生。
-------------------------------------	-------------------------------

表 44 No17 イオンミリング処理刃物（切削条件 30%UP）テスト加工結果

No. 17 (NB039-01) S6500/F650 最終穴数 551 ケ 切削油濃度 11.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目 径	50 穴目 粗度	100 穴目 径	100 穴目粗度	150 穴目 径	150 穴目粗度
	3.900		3.907		3.900		3.901	
	200 穴目 径	200 穴目 粗度	250 穴目 径	250 穴目 粗度	300 穴目 径	300 穴目 粗度	350 穴目 径	350 穴目 粗度
	3.944		3.973		3.905		4.001	
	400 穴目 径	400 穴目 粗度	450 穴目 径	450 穴目 粗度	500 穴目 径	500 穴目 粗度	最終穴目 径	最終穴目 粗度
	3.964		3.932		3.902		3.932	

以上の結果より、切削条件を 30%UP させた条件での結果が悪いため耐久テストは行わないこととした。

基礎試験テストによる性能評価をまとめると、以下のとおりである。

DLC コーティングドリルにイオンミリング処理したものに関しては、切削条件を 30%UP させても耐久テスト終了後の刃先粗度は 100nm 程度であり、未処理のものが耐久後 400nm まで低下していることより効果があったと見られる。

超硬ドリルに関しては一部のドリルに関しては、耐久テストで切削条件を 30%UP させても寿命が長くなったものがあつたが、その他のものに関しては切削条件を 30%UP させた 1 ブロック加工の

テストの段階で穴粗度や穴径が悪くなる傾向が見られた。

PCD コーティングドリルに関してはイオンミリング処理の段階で効果が見られなかったのと同様に未処理刃物と同程度の結果となった。

以上の結果を参考にして、以降に示すように実生産ラインでの性能評価を行った。

④実生産ラインでの性能評価

実証試験として、図 22 に示すような形状のラダーフレーム加工ラインにおいて、イオンミリング処理を施した刃物で、切削条件(加工速度)を従来よりも 30%UP させて被加工物 101 台でのテスト加工を行った。また、性能比較として未処理刃物でも同数加工を行った。

処理刃物においては全数穴径測定を行い、10 台おきに三次元測定で位置度及び粗度の測定を行った。未処理刃物に関しては 10 台おきに穴径測定、および粗度の測定を行った。テスト加工穴の箇所を図 20 に示す。また以下に、その試験結果を示す。



図 22 ラダーフレーム全体図

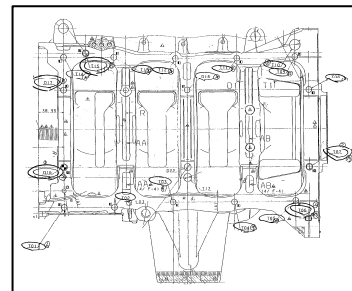


図 23 テスト加工穴箇所

i PCD(NB100-21)を使用した場合 (1 台につき 2 穴加工、合計 202 穴加工)

No51 未処理刃物 (表 45)	穴径・粗度ともに問題なし。
No32 処理刃物 (表 45)	穴径は問題なかったが、粗度がスペックアウトするものが 1 台発生した。

PCD(NB100-21)は下穴があいているところに使用するため、#3 の刃先エッジ付近の粗度で比較すると同等の粗度であった。

表 45 PCD(NB100-21)ドリル刃の実証試験後の刃先表面粗さ

	No.51(未処理)		No.32(ミリング)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.105	1.225	0.043	1.080
#2	0.136	2.339	0.054	1.066
#3	0.139	2.503	0.155	2.965
Average	0.127	2.022	0.084	1.704
エッジ側面	0.225	20.860	0.636	5.558
パニシング面	0.297	4.308	0.237	2.503

ii 超硬合金(NB100-26)を使用した場合 (1 台につき 17 穴加工、合計 1717 穴加工)

No52 未処理刃物	穴径・粗度ともに問題なし。
No33 処理刃物	穴径は問題なかったが、粗度がスペックアウトするものが頻発した。

刃先粗度を比較しても大きな差はないが上記のとおり、穴粗度の悪いものが発生した。

表 46 超硬合金(NB100-26)ドリル刃の実証試験後の刃先表面粗さ

	No.52(未処理)		No.33(ミリング)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.110	2.099	0.090	2.136
#2	0.112	2.182	0.119	2.643
#3	0.070	1.262	0.117	2.920
Average	0.097	1.848	0.109	2.566
エッジ側面	0.188	5.807	0.088	1.987
パニシング面	0.069	1.390	0.110	4.805

iii 超硬合金(DSC850FQNA)を使用した場合 (1台につき15穴加工、合計1515穴加工)

No53 未処理刃物 (表 47)	穴径・粗度ともに問題なし。
No34 処理刃物 (表 47)	同上

刃先粗度を比較しても No34 のほうが良い状態を保っていた。

表 47 超硬合金(DSC850FQNA)ドリル刃の実証試験後の刃先表面粗さ

	No.53(未処理)		No.34(ミリング)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.191	2.081	0.101	2.300
#2	0.318	2.981	0.136	16.412
#3	0.180	2.184	0.103	2.567
Average	0.230	2.415	0.113	7.093
エッジ側面	0.234	2.620	0.358	16.537
パニシング面	-	-	-	-

iii PCD(NB160-10)を使用した場合 (1台につき1穴加工、合計101穴加工)

No54 未処理刃物 (図 24、表 48)	穴径・粗度ともに問題なし。
No48 処理刃物 (図 25、表 48)	穴径はバラツキが発生していたがスペックに収まっていた。粗度に関してはスペック内に収まっていたが、切粉の巻き込みなどによる粗度悪化が多く見られた。

刃先粗度を比較しても同等レベルである。



図 24 未処理刃物での加工穴



図 25 処理刃物 (切削条件 30%UP) での加工穴

表 48 PCD(NB160-10)ドリル刃の実証試験後の刃先表面粗さ

	No.54(未処理)		No.48(ミリング)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.175	2.756	0.225	9.278
#2	0.360	3.608	0.208	2.770
#3	0.259	4.098	0.213	2.538
Average	0.265	3.487	0.215	4.862
エッジ側面	0.161	17.583	0.108	20.884
パニシング面	0.047	1.508	0.058	1.695

以上の結果より、イオンミリング処理刃物と未処理刃物明確な差が見られないため、実証試験の耐久試験は行わなかった。

実証試験による性能評価をまとめると、以下のとおりである。

基礎試験と同様に PCD に関しては効果が見られなかったが、超合金ドリルである DSC850FQNA に関しては、切削条件を 30%UP させても未処理刃物と同等の結果が得られた。

基礎試験及び実証試験の結果より、最も効果が見られた刃物は DCL コーティング材(DLCCR9.0)と超合金(DSC850FQNA)であり、この 2 種類の刃物の共通点としてはネジレ刃であることより、この形状に関してはイオンミリング処理効果が得られると思われる。

2-4 水溶性切削油温度と切削性の研究

(1) 研究内容

アルミ鋳造合金の切削時の刃先摩擦熱による溶着を抑えることが高速切削には重要であり、切削油温度管理を利用して刃先の冷却を行うことにより、摩擦熱を低減させ溶着を防止できると考えられる。そのために、水溶性切削油の様々な温度条件において、刃先への溶着や磨耗状況、被削材への穴径や粗度への影響を検証し、水溶性切削油の温度管理条件を検討し、切削速度の 10%向上を目指す。

(2) 研究成果

今回のテストドリルの中で、最も多く実生産で使用している超硬ドリル(NT073-4)を使用して、切削油温度を 25℃、20℃、15℃、10℃、5℃に目標設定してテスト加工を行い、加工穴の状態を比較した。表 49 に示すように 1 トライ目に関しては 25℃・20℃において粗度が悪い結果となったが、表 50 のように 2 トライ目では明確な差は出なかったが、温度の低いほうが若干粗度が良い傾向があった。また、穴径に関しては刃先冷却効果の影響かテストピースが冷却された影響かは判断できないが、温度が低いほど穴径が小さくなる傾向が見られた。再現のために 25℃と 20℃のみ 3 トライ目を行ったが、2 トライ目と同様の傾向が見られた。

表 49 切削油冷却温度違いによるテスト加工結果(1 トライ目)

切削油温度 24℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.303	2.6/16.6	7.304	0.6/4.8	7.710	1.5/9.0	7.308	1.5/10.2
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.312	1.6/9.6						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.299	0.6/3.6	Ra/Ry	
切削油温度 20℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.298	0.7/5.0	7.298	0.8/5.2	7.299	1.6/9.8	7.298	0.4/1.8
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.298	0.6/4.6						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.301	0.6/4.6	Ra/Ry	
切削油温度 15℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.302	0.8/6.0	7.299	0.6/5.0	7.299	0.5/3.8	7.301	4.5/25.8
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.299	0.6/5.0						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.299	0.6/3.4	Ra/Ry	
切削油温度 10℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.2%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.298	0.8/5.8	7.298	0.6/3.2	7.296	0.7/4.8	7.297	0.7/5.2
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.297	0.6/4.4						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.297	1.5/13.2	Ra/Ry	
切削油温度 7℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.2%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.299	0.5/2.4	7.296	0.6/4.4	7.296	0.6/3.8	7.295	1.2/12.4
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.291	0.5/3.2						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.295	0.7/4.2	Ra/Ry	

表 50 切削油冷却温度違いによるテスト加工結果(2 トライ目)

切削油温度 25℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.296	1.4/12.4	7.298	0.5/2.4	7.298	0.7/5.2	7.298	0.6/4.4
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.297	0.7/4.8						
切削油温度 20℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.298	0.6/4.8	Ra/Ry	
	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.290	0.6/3.6	7.294	0.6/4.0	7.296	0.6/4.6	7.293	0.5/3.4
切削油温度 15℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.293	0.5/4.2						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.293	1.0/7.2	Ra/Ry	
切削油温度 10℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.302	0.7/6.0	7.292	0.8/5.4	7.293	0.8/2.8	7.293	0.7/5.0
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.292	0.6/2.6						
切削油温度 10℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.293	0.5/3.2	Ra/Ry	
	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.296	0.4/1.8	7.295	0.5/2.8	7.290	0.5/2.2	7.293	0.5/1.8
切削油温度 5℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.293	0.7/2.8						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.299	0.6/3.6	Ra/Ry	
切削油温度 5℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.290	0.4/2.2	7.289	0.5/2.8	7.291	0.5/2.4	7.289	1.2/7.2
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.291	0.9/7.8						
切削油温度 5℃ No. 47 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 11.5%	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.291	0.9/5.2	Ra/Ry	

以上の結果より、切削油温度の違いが切削性に影響を与えるかを判断するために、表 51 及び 52 に示すように、25℃と 10℃（5℃温度維持が困難なため）で耐久テストを行った。その結果は、以下のとおりである。

25℃ (表 51,表 53)	粗度に関しては 10℃の場合と同等で問題ないレベルであるが、穴径に関して口元は問題ないが、穴の奥側に関しては大きい傾向が見られた。
10℃ (表 52,表 53)	穴径・粗度ともに問題なし。

表 51 切削油冷却温度 25℃テスト加工最終ブロック結果

切削油温度 25℃ No. 49 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.345	1.6/9.8	7.298	0.9/5.6	7.293	0.8/3.6	7.308	1.0/6.8
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.292	0.6/4.4						
切削油温度 25℃ No. 49 (NT073-45) S8000/F800 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.0%	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.297	0.7/4.8	Ra/Ry	

表 52 切削油冷却温度 10℃テスト加工最終ブロック結果 (切削条件 10%UP)

切削油温度 10℃ No. 50 (NT073-45) S8800/F880 最終穴数 228 ケ 切削油濃度 12.0%	初穴目 径	初穴目 粗度	50 穴目径	50 穴目粗度	100 穴目径	100 穴目粗度	150 穴目径	150 穴目粗度
	7.320	0.9/6.2	7.296	0.8/5.2	7.293	0.6/3.4	7.292	1.2/8.8
	200 穴目径	200 穴目粗度	250 穴目径	250 穴目粗度	300 穴目径	300 穴目粗度	350 穴目径	350 穴目粗度
	7.296	1.1/6.8						
	400 穴目径	400 穴目粗度	450 穴目径	450 穴目粗度	最終穴目径	最終穴目粗度		
					7.293	0.8/7.6	Ra/Ry	

表 53 超硬合金(NT073-45)ドリル刃の切削温度変更試験後の刃先表面粗さ

	No.49(25℃設定)		No.50(10℃設定)	
	Ra[um]	Rz[um]	Ra[um]	Rz[um]
#1	0.062	3.492	0.110	2.109
#2	0.040	1.442	0.080	3.662
#3	0.043	1.030	0.069	2.832
Average	0.048	1.988	0.086	2.868
エッジ側面	0.236	13.759	0.105	3.270
パニシング面	0.190	2.851	0.226	2.966

(3) 水溶性切削油温度と切削性の研究まとめ

切削油温度を 25℃、20℃、15℃、10℃、5℃の 5 段階に分けてテスト加工を行った。結果として、僅かな差であるが 25℃及び 20℃の場合で刃先粗度が悪くなる傾向が見られた。また、耐久テストを切削油温度 25℃で切削条件を通常のもの、切削油温度 10℃で切削条件を 10%UP させたもので行った。刃先粗度に関しては、いずれの条件下でもほぼ良好な結果であった。しかし、穴径に関しては、25℃で切削した場合は耐久テストの終盤で穴の奥側の径が大きくなる傾向が見られたが、10℃で切削し、且つ切削条件を 10%UP した場合には比較的良好な結果を得ることができた。

以上の結果より、切削油温度は低い方が刃物の切削性が良いと見られる。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果のまとめ

本研究開発により超硬及び DLC コーティングドリルに対しイオンミリング処理を施すことにより、粗度を改善させることができることが確認された。PCD に関しては硬度が高いため前処理及びイオンミリング処理が殆どかからず、効果がないことがわかった。

基礎試験、実証試験の結果より、イオンミリング処理を施して最も効果があったのは超硬ドリルでネジレ刃のものであった。直刃のバニシングに関しては、最終的には刃先ではなくバニシングで穴径を安定させる構造のため、また、バニシングへの溶着状況から考えてドリルの刃先の処理だけではなくバニシング面の鏡面仕上げが必要と考えられる。本研究開発において最後にバニシング面にもイオンミリング処理を行ったが、バニシング面には前処理を施さずにイオンミリング処理を行ったために殆ど効果が見られなかった。但し、今回使用したイオンミリング用の治具は刃先に処理が掛かるような構造としているため、バニシング面に効率よく処理できるような治具を使用すると前処理なしでも効果が得られる可能性がある。

切削油温度と切削性に関してはわずかな差であるが効果があったと見られるが、粗度ではなく穴径のみに影響が出たことより、刃先への冷却効果ではなく被削材自体が温度変化を受けた可能性も考えられるため、更なる見極めが必要である。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

今回の研究開発に関しては、イオンミリング処理方法の確立ができたが、イオンミリング処理前の前処理が手作業でありバラツキが発生する可能性がある。このため今後は安定した前処理方法の確立が必要である。また、実際の刃物購入に関しては同一形状の刃物を 10 本以上同時に購入する例はまれであり、多種多様な径と全長の刃物を同時にイオンミリング処理できる治具及び処理方法を検討する必要がある。

テスト加工においては効果のあった刃物と効果のなかった刃物があり、更にテストを重ねて、刃物形状・材質とミリング処理の効果の関係を見極める必要がある。

切削油温度に関しては、温度変化による効果も確認されたが、切削油を冷却するオイルクーラーの消費電力も大きくかかるため、切削性 10%UP することによる効果と消費電力を比較して、コストメリットといった観点からも検証が必要であろう。

今後の事業化に関しては上記の問題をクリアすることが必要ではあるが、今のところ、ミリング処理を行う IBS (A) 装置を保有する企業がほとんどないため、1 日最大で 80 本程度しか処理できないことより、更なる処理速度を向上させることも重要である。

但し、実生産においてはネジレ刃のドリルに関しては効果が見られたが、ネジレ刃のドリルは精度穴ではなく取付け穴などの比較的精度の緩い加工向けである。精度穴ではなく取付け穴などが多いブラケット系の製品が近年鋳鉄からアルミニウムに変更されるといった流れがあるため、本成果を基にした切削速度向上によりコスト低減を図れば、更なるアルミニウム化につながると見込まれる。