

セラミックスの高精度切削加工技術(第4報) —ベクトル磁気特性計測用Hコイル巻枠の加工—

水江宏*・大塚裕俊*・重光和夫*・橋口智和*・竹中智哉**・相原茂***
*機械・金属担当 ・ **電子・情報担当 ・ ***西日本電線株式会社

Precision Cutting Technology of the Ceramics (The 4th) —Cutting for a H-Coil Bobbin of Local Two-Dimensional Vector Magnetic Sensor—

Hiroshi MIZUE*・Hiroto OHTSUKA*・Kazuo SHIGEMITSU*・Tomokazu HASHIGUTI*
Tomoya TAKENAKA**・Shigeru AIHARA***

*Mechanical and Metallurgical Engineering Gr.

Electronic Information Gr. ・*NISHI NIPPON ELECTRIC WIRE & CABLE CO. LTD.

要 旨

前報までは、市販の超硬合金エンドミル工具を用いてホトベールに対する溝加工実験、Hコイル巻枠加工実験、市販のダイヤモンドコーテッド超硬合金エンドミル、ワイヤ放電加工機で製作したPCD(焼結ダイヤモンド)エンドミルを用いてジルコニアに対する溝加工実験を行った。ジルコニアに対しては、いずれも工具寿命などで問題が生じ、工具1本あたりHコイル巻枠1個分の加工除去量に達しなかった。本報では、PCD工具の製作手法とジルコニア切削条件などの改善により、PCD工具の長寿命化が図られた。

1. はじめに

高効率な電磁力応用機器の開発にあたって、鉄心などの正確な磁気特性の計測が不可欠であり、磁束密度や磁界の強さなどの面分布を計測するために、微小コイルなどを用いる方法が提案されている。本研究では、磁界の強さを測定するHコイルの巻枠の精密加工に取り組む。

巻枠の溝底の形状特に入隅部の形状が、Hコイル製造時の巻乱れの主な原因と考えられるので、入隅部の形状精度の向上を目的に切削加工実験を行ってきた。前報では、被削材をホトベールからジルコニアに変更して、ワイヤ放電加工機で製作したPCD工具による溝加工実験を行ったが、工具寿命が短いことが明らかとなった。

したがって本年度は、PCD工具の製作手法の改善、溝加工条件の変更などにより、工具の長寿命化を目指す。

2. ワイヤ放電加工用軸回転装置の高精度化

PCDは単結晶ダイヤモンドほどの硬度を有していないが、cBNの2倍以上の硬度を有している。また、特定の結晶面に起因するへき壊性が無く、バインダーの導電性により放電加工が可能であり、しかも安価である。これまでワイヤ放電加工機と軸回転装置を使用して、刃先部にPCDを有するドリルやエンドミルを製作してきたが、製作する工具の精度、操作性の向上による製作時間の短縮などを目的に高精度タイプの軸回転装置を試作した

(Fig.1参照)。改良点は以下のとおり。

- ・軸の支持間隔拡大
- ・多軸受化
- ・軸受内輪の予圧付加
- ・ステッピングモータの採用
- ・カーボンブラシの採用

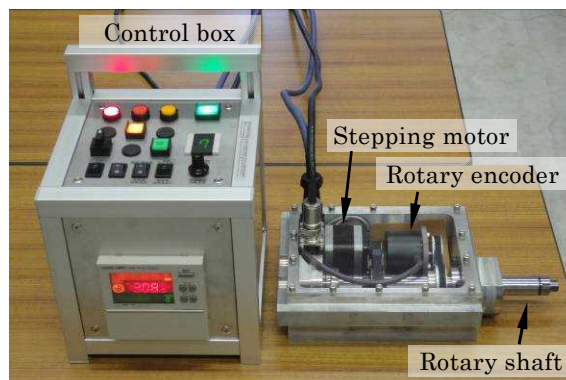


Fig.1 Chuck and rotary unit for W-EDM

2.1 軸回転装置の精度

テストインジケータ(2 μ m目盛)およびニコン製測定顕微鏡を用いて、回転精度・繰り返し位置決め精度等を測定した。

無負荷条件で回転精度は半径方向精度2 μ m以下、軸方向精度1 μ m以下、同方向の繰り返し位置決め精度は

0.05° 以下，違い方向の繰り返し位置決め精度は 0.6° 以下を達成した．回転精度等は非常に高い精度を確保したが，違い方向の繰り返し位置決め精度が大きく劣る結果となった．これは絶縁のために使用した駆動用ベルトによるバックラッシに起因するものと思われる (Table 1 参照)．

Table 1 Spec. of chuck and rotary unit for W-EDM

Rotational accuracy (Radial plane)	2 μ m
Rotational accuracy (Axial plane)	1 μ m
Repeatability (Rotation)	0.05°
Repeatability (Counterrotation)	0.6°
Resolving power	0.05°
Number of revolution	0-125min ⁻¹

3. 高周波誘導加熱装置

PCD 素材を軸回転タイプの切削工具に仕上げるためには，シャンク部となる鋼製の軸に PCD チップをろう付けする必要がある．従来は，マイクロトーチを使用しガスバーナーでろう付け作業していた．しかし，ろう材の熔融温度は 700℃ 程度である一方 PCD は 700℃ 以上の高温に数分さらされると表面が徐々に劣化することが知られている．マイクロトーチを使用し PCD をなるべく劣化させずにろう付けするには，高い技能を要求する．そこで本年度は，誰でも高品質に PCD のろう付け作業ができるよう簡易型の高周波誘導加熱装置を試作した (Fig. 2 参照)．試作ポイントは中小企業への技術移転を考慮して以下のとおりとする．

- 加熱保持時間や作業性を考慮して，30 秒程度でろう材が熔融する出力とする．
- 対象物に小物（直径 3mm 長さ数 10mm 程度）を想定し，加熱周波数を 30 kHz 以上とする．
- LC 共振を利用して，低コスト・コンパクトな駆動回路とする．

3.1 高周波誘導加熱装置の性能

駆動回路は，ZVS ドライバで構成した．本回路は，共振周波数を調整することで出力電力を容易に調整することができる．

線径 3.2mm の極太エナメル線をコイル材料として使用しコイル径 38mm と 61mm でそれぞれ 5turn, 10turn, 線外径 3.0mm の銅パイプを用いてコイル径 31.5mm で 7turn, 10turn のコイルを試作した．

被加熱物とコイルの取り回し確認と加熱実験等を繰り返し，Table 2 の仕様・駆動条件で最適な加熱時間と作業性のバランスを得た．また，加熱中のワークの表面温度 (シャフト端部) と共振用コンデンサの表面温度の変化を Fig. 3 に示す．

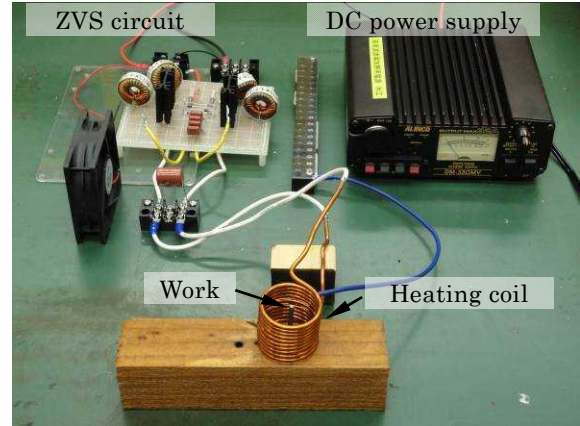


Fig. 2 High frequency induction heating unit

Table 2 Spec. of high frequency induction heating unit

Condenser capacity		4.7 μ F
Heating coil	Diameter	38.0mm
	Number of turn	10turn
	Inductance H	3.0 μ H
Resonance frequency		40kHz
Source voltage		DC 13.5V
Consumption current		6A
Heating time		30~35s

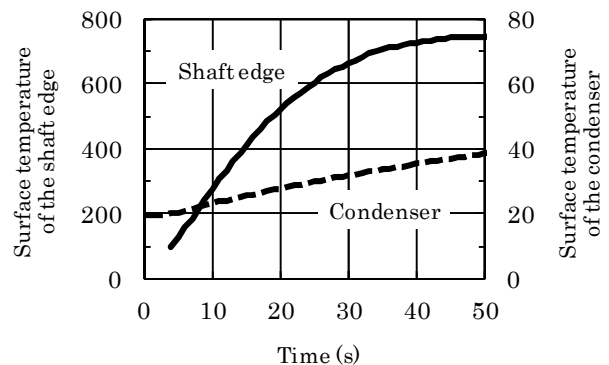


Fig. 3 Temperature of the work and condenser

コンデンサ容量 4.7 μ F, 加熱コイル直径 38.0mm, 10turn の時，共振周波数は約 40kHz で加熱時間は 30s~35s (直径 3.1mm 長さ約 30mm の鋼製棒先端に配置したろう材が熔融するまでの時間) となった．また，ろう材の

溶融温度域を超えた後は、約 750℃で温度上昇の速度が遅くなり、ろう付けの作業性およびPCDの高温劣化の抑制の点で、理想的な加熱性能となった。共振用のコンデンサは加熱1回あたりの表面温度が40℃以下であり、耐久性の問題はないと予想できる。

4. ジルコニア溝加工実験

H コイルの加工は、工具直径全面を使用した工具に対する負荷の高い溝形状の加工である。本実験では、加工方向の辺が15mmのジルコニアの直方体を被削材として、切削による溝加工実験を行い、2mmタイプのHコイル製作時に必要な材料除去量に対して、工具摩耗を評価した。

4.1 PCD 工具の形状

これまでは工具の汎用性を考慮し、工具刃先長さや首下長などを確保するため、首形状はシャンク部からPCDの刃先部まで約2.5~3.0mmの長さの細軸形状(旧形状)としていた。しかしながら、工具剛性の不足から、加工抵抗による加工中の振動・曲げ・ねじりなどの影響により工具寿命が短くなる可能性があるため、首下長が短い高剛性な新形状とした。旧形状と新形状の刃先部の形状(すくい角や逃げ角などのアライメント)は同じである。

4.2 実験方法

従来の軸回転装置とマイクロトーチでろう付けを行った旧形状のPCD工具を使用してDry(前報分、条件No.6)とWet(条件No.7)による溝加工実験を行い、さらに高精度型の軸回転装置と高周波誘導加熱装置でろう付けを行った新形状のPCD工具を用いてWetによる溝加工実験(条件No.8)を行った。

切削形態は、1パスあたりの長さが15mmの溝切削とした。新形状工具(条件No.8)のZ切込みは0.107mmとした。これは2パス加工により除去する切削体積が、2mmタイプHコイル製作時の除去体積と一致するように設定した都合による。

加工機には安田工業(株)製の精密立型高速マシニングセンターYMC325を使用した。机上計測用の顕微鏡はシグマ光機(株)製同軸照明付観察ユニット、オリンパス(株)製20倍対物レンズを使用した。被削材には東ソー(株)ジルコニアYTZ(粉砕ボール用材料、曲げ強度:1200MPa、硬度HV10:1250、弾性率:210GPa)を使用した。工具はPCD2刃エンドミル(直径1.0)を使用した。切削条件をTable 3に示す。前報では、加工液を用いないDry加工であったが、本報では、加工油中にジルコニアを浸漬させたWet加工とした。加工液は非塩素系の不水溶性切削油(出光ダフニーマークプラス LA5)を使用した。また、工具突き出し長さは、コレットナット端部から約10mmとした。

Table 3 Slotting condition

Slotting condition No	No.6	No.7	No.8
Number of flute	2	2	2
Rotation (min ⁻¹)	5000	5000	5000
Feed rate (mm/min)	7.5	7.5	7.5
Depth of cut Z(mm)	0.1	0.1	0.107
Coolant	Dry	Wet	Wet
Shape of neck	Long	Long	Short

4.3 実験結果

条件No.6,7では、1パスあたり、2mmタイプHコイル巻棒1個加工時に必要な除去体積(3.22mm³)の47%に相当する。条件No.8は、1パスあたり50%に相当する。

条件No.6における1パス後の工具状態をFig.4、条件No.7における1パス後の工具状態をFig.5、および条件No.8における1パス後の工具状態をFig.6に、2パス後の工具状態をFig.7に示す。Dry加工では大きなチップングが生じるものの、加工液を使用すること(No.7,8)で、大幅に工具寿命が向上することが示された。

条件8における1パス後2パス後の刃先のすくい面の拡大写真をFig.8に示す。溝入口部出口部における溝底の入り隅部の拡大写真をFig.9に示す。また、加工距離に対する工具の半径方向の摩耗幅(=被削材の削り残し量)の関係をFig.10に示す。条件No.8では2パスまで加工して、刃先摩耗が非常に小さいことが確認された。これにより、2mmタイプHコイル加工が1本のPCDエンドミルで加工可能であることが示された。

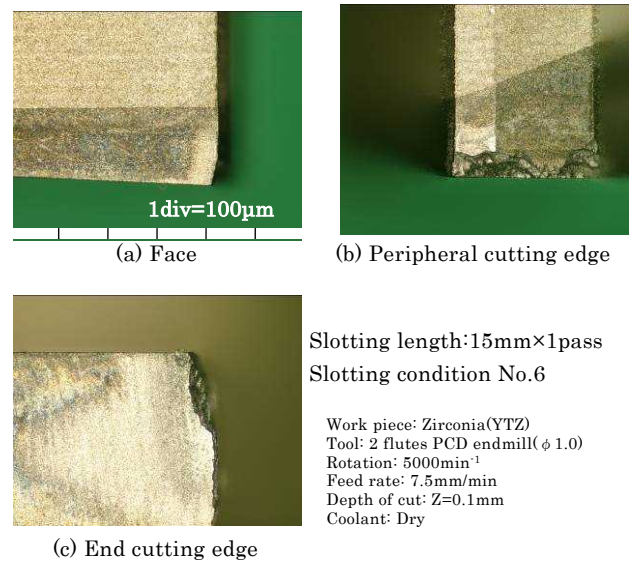


Fig.4 PCD tool condition after slotting

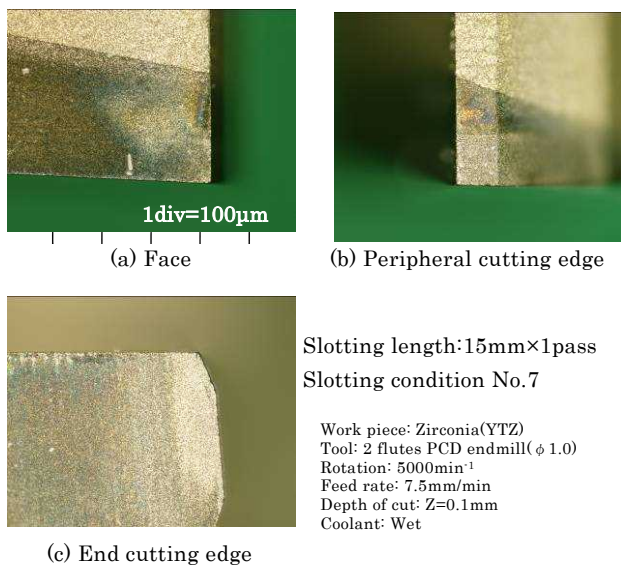


Fig. 5 PCD tool condition after slotting

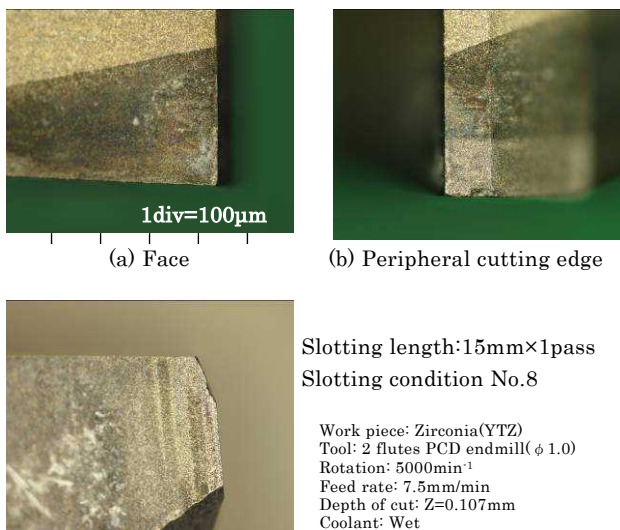


Fig. 6 PCD tool condition after slotting

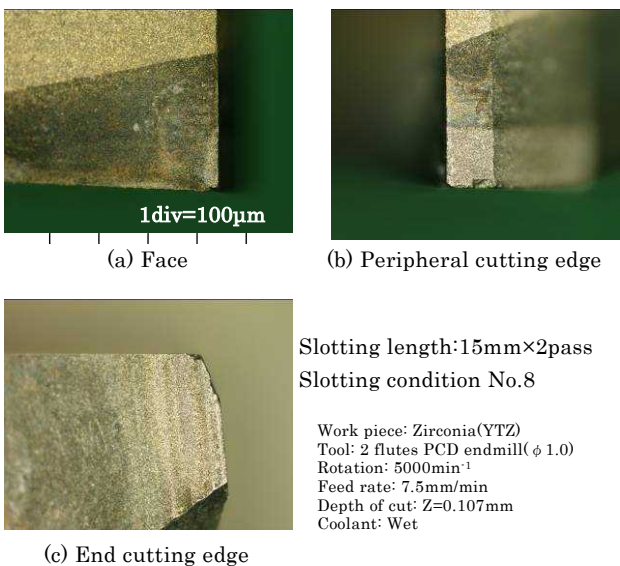


Fig. 7 PCD tool condition after slotting

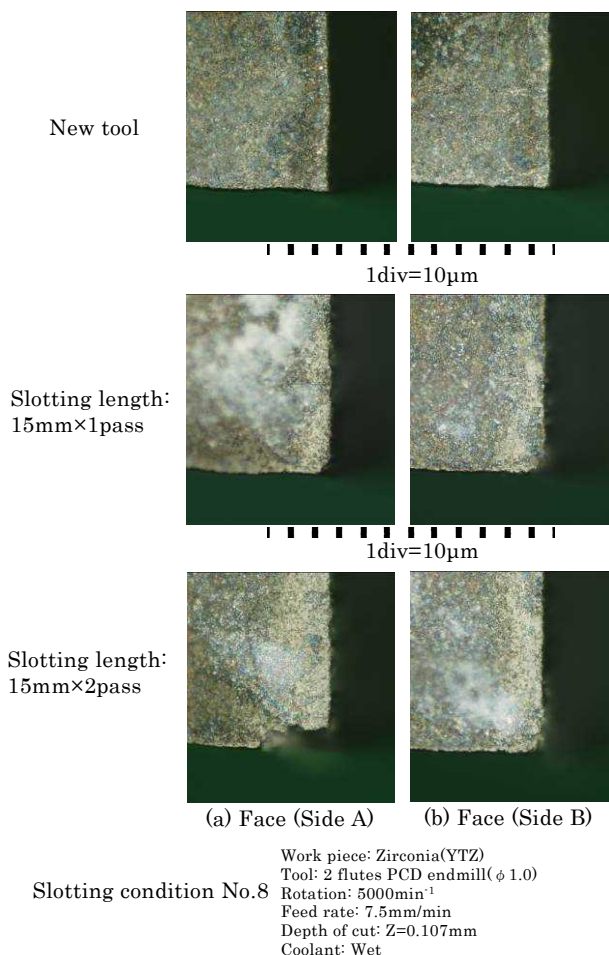


Fig. 8 Condition of the PCD endmill face

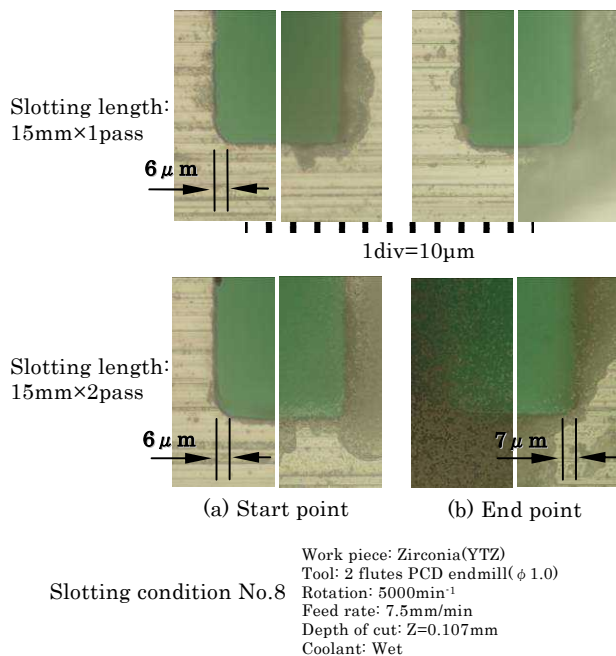


Fig. 9 Condition of the work corner

また、加工後の工具観察では、第2逃げ面やその後ろに続く逃がし面が、被削材と干渉している痕跡が認められた。原因は不明である。

被削材の削り残し量を確認すると (Fig. 9), 削り残し量の変化は, 加工直後に $6\mu\text{m}$ 程度生じた後, 2パス加工後で $7\mu\text{m}$ と安定している. しかしながら, 2パス加工後の刃先状態は (Fig. 8), Side A に大きめのチッピングが確認される. すなわち, 2パス後の $7\mu\text{m}$ の削り残し量は, ほぼ Side B のみで達成されたもので, 片刃となったPCDエンドミルのその後の寿命は長いものではないと予想される.

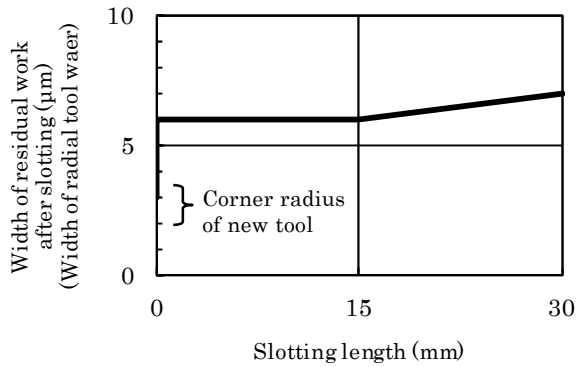


Fig. 10 Slotting length and width of residual work

なお, 本テーマでは, あくまで入隅部の削り残し量の方に注目しPCD 工具の初期の摩耗状態を観察したものであり, 本来の使用条件であれば, 問題の無い摩耗量を工具寿命としている.

条件 No. 6, 7, 8 における加工溝の状態を Fig. 11 に示す. 溝出口部に $100\sim 200\mu\text{m}$ 程度のカケが生じている. 実際の H コイル巻枠の加工では, これらのカケは, 両サイドから工具を進入させることで抑制されることは確認されている.

条件 No. 8 の 2nd パスにおいて, 溝の側壁上部にカケが確認される. 同一工具にもかかわらず, 2nd パスでカケが急に拡大している. 原因は不明である.

5. まとめ

試作した高精度軸回転装置の各種精度を示し, 高周波誘導加熱装置の加熱性能を示し, これらを使用して製作した 2 刃の PCD エンドミルを使用することで, 2mm タイプ H コイル巻枠の加工を, 1 本の工具で加工可能であることを示した.

本研究は, 大分県地域結集研究開発プログラムの一部として, 西日本電線株式会社と共同で行ったものである.

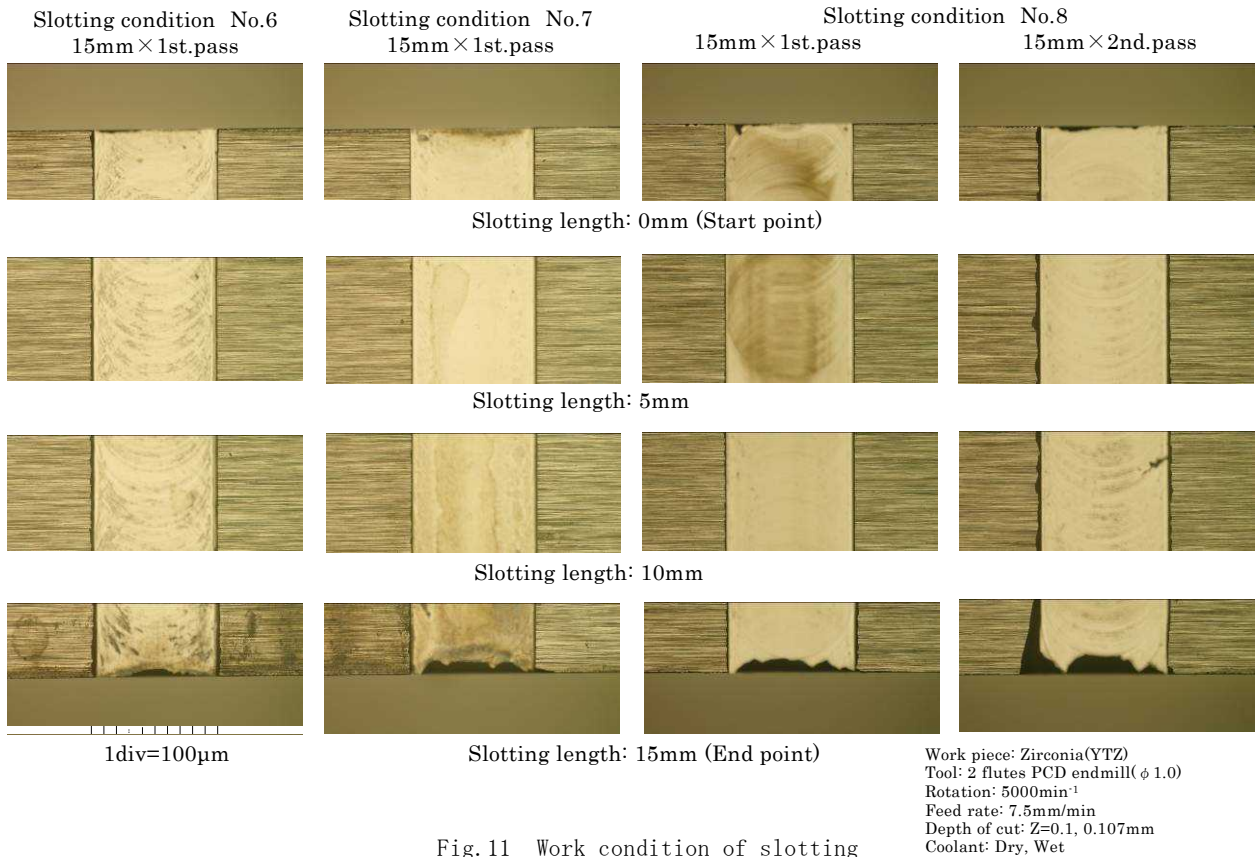


Fig. 11 Work condition of slotting