

特集 高付加価値加工に向けた新しい切削工具の提案

CFRP材料穴加工の新たな進展

——北京ワールドダイヤソリッドPCDドリル——

庄 瀚林*

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック（英：carbon fiber reinforced plastic, CFRP）は、高強度、高剛性、耐腐食性、優れた耐疲労性能、高度な設計自由度などの多くの利点があり、自動車、建設機械などの材料として、幅広い分野にて使用されている。

CFRP材料は、単独で使用することも、チタンおよびアルミプレートと組み合わせて使用することも可能である。たとえば、航空機メーカーが新型の航空機を製造することに当たり、複合材料は80%を占め、総重量の50%に相当するという。CFRP材料を使用することにより、1,500枚のアルミプレートと50,000枚の留め具の使用を減らすことを実現できる。以前の航空機と比較すると、燃料消費量を20%節約できる。

アルミニウムとその合金は、軽量、加工が容易、比強度が高い、耐腐食性が高い、といった特徴があるため、航空機ボディの構造材など、最先端の構造物として広く使用されている。

組み立ての精度を確保するために、複合材料は通常、金属材料の上に配置され、組み立て穴は同時に加工される。CFRPは、加工時の工具摩耗

が激しく、CFRPの層間強度が低い高硬度の脆性繊維材料であり、穴の出口で裂け目や層間剥離などの欠陥が発生しやすい。一方アルミ合金は、化学活性が強い、強度が低い、粘り強いなどの特性があり、切削工具は粘着摩耗しやすく、工具寿命が短くなる。

CFRP/Al複合材の穴加工の際、高寿命と高品質を得るために、特殊な工具構造や、コーティング工具の使用している。このような切削工具を使用することにより、より良い加工条件と結果を達成している。

多結晶ダイヤモンド（PCD）工具は、高硬度、高圧縮強度、優れた熱伝導率と耐摩耗性、低摩擦係数、および他の材料との親和性が低いという特性を備えており、CFRPの加工において、高い表面精度と加工効率を得ることができる。CFRPを加工する際、PCDドリルによる加工効率と耐摩耗性は、超硬ドリルよりもはるかに高くなっている（図1、2）。

自動車、建設機械一部の部品を加工する際、PCD工具は、従来の超硬工具より加工効率が良い。そのため、各大手工具メーカーがPCDドリル製品を研究、開発している。

PCDドリルの刃先はPCD材料で作られ、ドリル本体部分は超硬母材になる。超硬合金のドリル本体は、剛性と寸法精度に優れており、穴あけ加

*SHO, Kanrin/棟京二 中国プロジェクト



図1 CFRP加工用PCDドリルとCFRP製ワーク

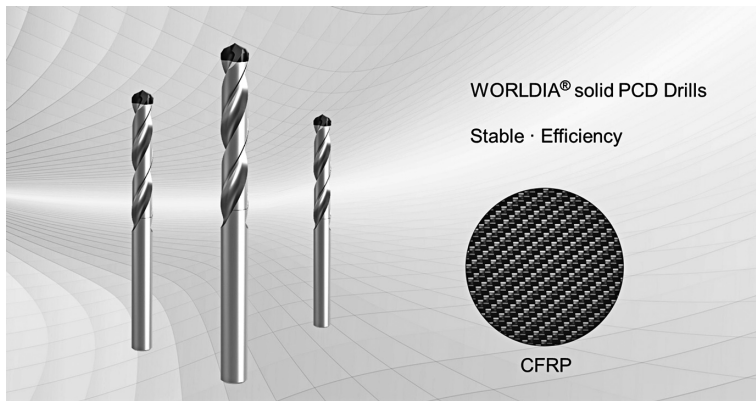


図2 CFRPワークを安定して高効率に加工できるPCDドリル



図3 ワールドダイヤ本社



ブレード付きチップ



PCDフライスカッター

図4 ブレード付きPCD工具と、PCD正面フライス

工の品質を確保できる。また、ねじれの部分は切りくずの排出を向上させることができる。刃先部分は耐摩耗性に優れるPCD素材を採用し、加工効率や寿命の向上を図っている。

2. 北京ワールドダイヤ

北京ワールドダイヤ社（図3）は2000年にPCD・CBNの原料カッティングの会社として設立され、そのノウハウを活かし工具メーカーへと転身した。従業員数は約450名で技術人員は約100名。中国には数多くのダイヤモンド工具メーカーがあるが、同社の特徴は開発力、技術力で、80件を超える製品特許を保有している。

主力工具製品はPCD・CBNチップ、ブレードカー

付きPCD・CBNチップ、コーティング付きCBNチップ、PCD正面フライスなどである（図4）。

中国では現地の大手外資自動車、スマートフォンメーカー等の工場へPCD・CBN工具を納入している。日本へも2014年の市場参入以降、価格メリットと品質を武器に自動車・輸送機関連分野での採用が広がっている。2019年に上海証券取引市場に上場を果たした。

北京ワールドダイヤ社には、以下のような特徴がある。

- ① 元々はPCD・CBN原材料大手メーカーのカッティングを手掛けており、現在も技術提携をしているため、最先端CBN材料の入手が可能である。

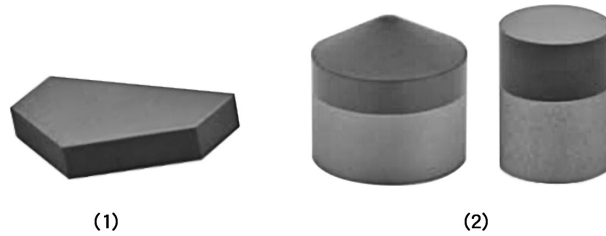


図5 ソリッドPCDの刃先

- ② 高いレーザーカッティング技術に加え、自社開発の真空ろう付け炉も保有している。また高精度なチップブレーカを加工でき、PCD・CBNのろう付け技術にも優れている。
- ③ 中国国内で80件以上の特許を保有し、開発力が高い。これまでブレーカー付きPCDチップ、コーティングCBNチップ、アルミボディアのPCDカッタなど、最先端製品を次々と開発している。
- ④ チップは標準品がメインだが、顧客条件に合わせて刃先ホーニングのカスタマイズを提案する。

3. ソリッドPCDドリルの開発プロセス

① 材料の選択

通常のチップろう付け式ドリルでは、大きなねじれ角を製作できない問題を解決するために、ソリッドPCD先端仕様を採用している。小径ドリルの場合は、図5左のチップタイプPCDを選ぶことにより、大きいねじれ角を実現可能になるが、直径が大きいドリルの場合、大きなスパイラル角度の設計を確実にするために、図5右のような円筒形もしくは円錐形PCDのみを使用している。

② ろう付け

PCD原材料の種類により、異なるろう付け方法を使用している。チップのろう付けドリルは超硬のベースがないため、真空ろう付け技術を採用されている。高効率ろう付け材料は通常高融点ポリマー材料であるため、ろう付け温度は非常に高い。ダイヤモンド酸化に対する高温の悪影響を回避するために、ろう付は真空環境で行う。

直径の大きい円筒形、円錐形PCD材料には、高周波ろう付けを選択する。誘導高周波ろう付けでは、高周波電流がワークの外部誘導コイルの結合によりワークに電流を発生させ、ワークとろう

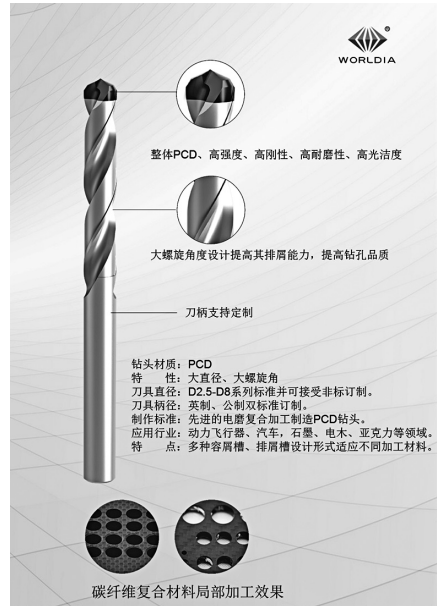


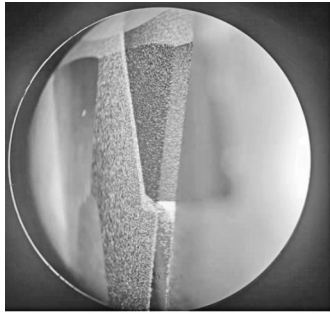
図6 大きなねじれ角を持つPCDドリル

を加熱し、ろう付けを完成させる。冷却後、複数の単一部品が溶接される。

③ 製作

CFRP複合材に穴加工する場合、適切な工具形状を選択することは非常に困難である。CFRP材料の穴あけには、通常、大きなねじれ角と長い刃先が必要である。これは、炭素繊維を刃先に沿ってせん断する必要があるため、長い刃先は小さな穴あけ点角度によって実現される。さらに、CFRP材の穴加工は、工具が引き抜かれた時にワークの表面剥離を回避するために、軸方向の力を低減する必要がある。上記の特性を考慮すると、PCDドリルは、非常に鋭い刃先形状、大きな切削すくい角、および大きなねじれ角（約30°）などの条件を備える必要がある。

厳しい穴の公差範囲を達成するために、ドリルの刃先は優れたセルフセンタリング性能が必要条件となっている。別の視点から見ると、ドリル



(1) 顕微鏡による刃先品質観察



(2) ツールプリセッターによる寸法測定

図7 PCDソリッドドリルの品質管理

先端の角度もバリの形成に大きい影響を与える。ドリルの先端角度が 90° 未満または 150° を超えると、バリを抑えることができるが、セルフセンタリングはきちんと機能しない弱点がある。したがって、内側の角度を 130° 、外側の角度を 80° のダブル刃先角度の設計を推奨している。また、このPCDドリルは、穴寸法の安定性を高めるためにダブルサポート設計を採用している。

PCD材料は加工が難しく、PCDのねじれ角を大きくすることはさらに困難である。上記の問題を考慮し、PCD部分の電解加工と超硬部分の研削加工には一体型の専用機を使用している。専用機を使用することにより、ユーザーの加工条件に合わせて、PCDドリルの溝形状、刃先形状の設計は可能になる。

④ 測定

PCDソリッドドリルの品質管理も重要である。刃先の表面精度はワークの加工品質に直接影

響する。加工後、まず顕微鏡で刃先の品質を観察し、表面精度が良く、欠けがないことを前提に、ツールプリセッターで寸法測定を実行する。すべての製品は寸法公差が範囲内にあることを確認している（図7）。

4. おわりに

炭素繊維複合材料は自動車部品などの製造に幅広く使用されており、穴加工は部品製造の重要な一環であるため、高強度、高剛性、高耐摩耗性、良い表面精度を備えた工具を選択することが加工品質を確保するための前提条件になっている。このため、北京ワールドダイヤは、さまざまな炭素繊維複合材料の加工に適した高効率、長寿命のPCDソリッドドリルを提供し、自動車、建設機械の炭素繊維複合材料の穴加工に最善な方案を提案している。