

PCD 製工具によるせん断加工

日本工業大学 機械工学科

教授 古閑 伸裕

(平成 24 年度一般研究開発助成 AF-2012009)

キーワード：せん断，PCD，工具寿命

1. 緒言

ラミネートタイプのリチウムイオン電池の電極となるタブリードやスマートフォンなどの小型電子機器の部品は、薄板や箔を素材とし、その多くがプレスせん断加工により製造されている。これら部品の切口面はかえり高さを数 μm 以下に抑える必要がある。そのため、せん断時のクリアランスをほぼゼロとし、パンチとダイの工具刃先は頻繁に再研磨を行うなどしてシャープさを維持しなければならない。すなわち、金型メンテナンスに要する時間と労力の削減がこれら加工における大きな課題とされている。また、タブリードの片持ち梁式せん断では、突然に大きなかえりが発生する場合があることも問題の 1 つとされている。

さて、著者はこれまで、PCD（焼結ダイヤモンド）¹⁾ の塑性加工工具への適用を目指し、深絞り加工や打抜き加工工具への PCD の適用に関する研究^{2), 3)} を行ってきた。その結果、いずれの加工においても、PCD 製工具を用いれば、工具摩耗や製品精度の悪化が飛躍的に改善できることが明らかになった。

上記、タブリードのせん断や箔製部品の打抜きなどへ PCD 製工具が利用できれば、工具の刃先や側面の摩耗低減、被加工材の工具への凝着による切口面精度の悪化が防止できるようになり、結果として金型のメンテナンスに要するコストが大幅に改善できることが期待できる。

本研究では、まず工具への凝着が発生しやすいアルミニウム製タブリードの片持ち梁式せん断における問題点を明らかにし、その改善策を提案するとともに、PCD 製工具の有効性について調査検討する。さらに、凝着に加え、他の鋼材に比べ工具の摩耗が大きいとされるステンレス箔の打抜きにおける PCD 製工具の活用技術^{4), 5)} を提案し、製作した打抜き金型による実験を行い、PCD 製工具を備えたゼロクリアランス金型の有効性を明らかにする。

2. アルミニウム薄板の片持ち梁式せん断

2.1 金型構造の検討と改善

現在、タブリードの生産は、片持ち梁式せん断金型により行われている。金型内の上下動するパンチはガイドにより案内されており、パンチとガイド間には一定の隙間が存在する。従って、せん断加工では材料の変形により工具へ側方力 F_m が作用する⁶⁾ ため、上記僅かな隙間分だけパンチが後方へ移動してクリアランスが増加し、これによりかえりが増大することが考えられる。そこで、**Fig.1** に示すように、せん断加工中にパンチ側方から F_m よりやや大きな力 $F_m + \alpha$ を作用させた状態（パンチが移動してクリアランスが増大しない状態）でせん断が行える機構を新たに金型へ付加した。さらに、工具刃先の摩耗防止や被加工材（アルミニウム）の工具への凝着が防止できるよう、**Fig.2** に示すような、刃先部に PCD をろう付けした工具（パンチとダイ）を準備し、実験に用いることとした。

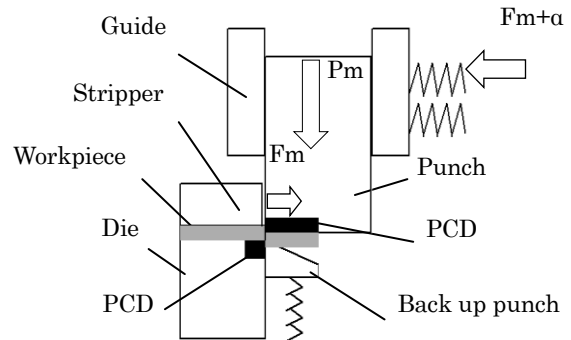


Fig.1 Schematic of zero-clearance cantilever-type shearing die

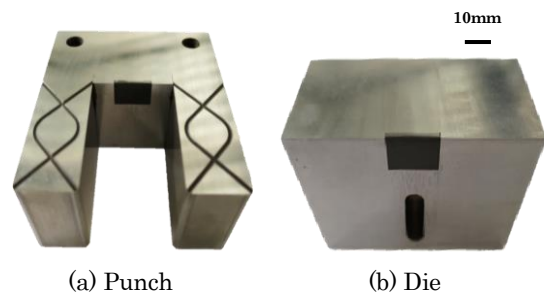


Fig2. Punch and die with brazed PCD chips

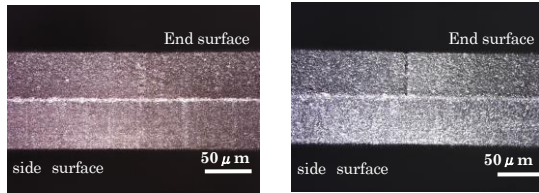
2.2 せん断実験

(a) 実験方法および条件

PCD製工具を組込んだ片持ち梁式ゼロクリアランス金型により、板厚 $t=0.4\text{mm}$ 、板幅 $w=10\text{mm}$ の純アルミニウム板 (A1050-H24, 引張り強さ: 113N/mm^2 , 伸び: 5%) フープ材を 20mm の長さで切断する、無潤滑連続せん断実験を行なう。この場合、プレス機械には 300kN サーボプレスを使用し、 60spm クランクモーションにて加工を行う。加工回数は 5 万回とする。

(b) 実験結果

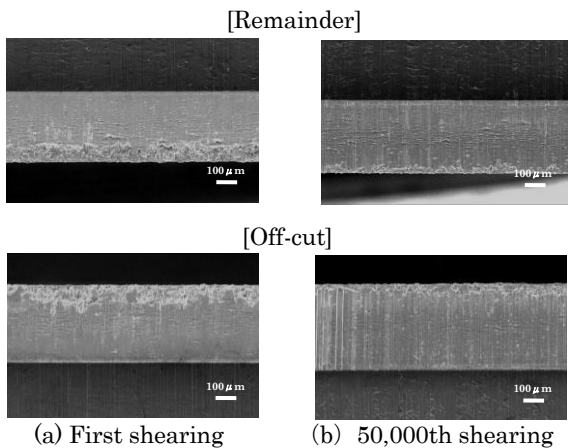
Fig.3 に、加工前と 5 万回加工後の工具 (パンチ) 刃先性状を示す。 5 万回せん断後においてもパンチ、ダイいずれの刃先もほとんど摩耗が認められず、被加工材の凝着発生も認められなかった。また、加工後の工具刃先にはチッピングなどの工具不良も一切認められなかった。



(a) Before blanking (b) After 50,000 shearing

Fig.3 Shapes of tool edges before and after 50,000 shearing

得られた切口面は、Fig.4 に示すようにゼロクリアランスであるため、ほぼ全域がせん断面となり、 5 万回目に得られた切口面も初回切口面とほとんど変化が認められず良好な切口面であった。



(a) First shearing (b) 50,000th shearing

Fig.4 Cut surface obtained after the first and 50,000th shearing

生産において問題となっていたかえりは、金型構造の改善によりクリアランスの増大が抑制されたため、すなわち

ゼロクリアランスが加工中維持されたことや、工具刃先の摩耗や被加工材の凝着が大幅に軽減されたことにより、Fig.5 に示すように、かえり高さの増大はほとんど認められなかった。また、Fig.6 に切口面近傍の横断面形状をそれぞれ示すが、刃先をシャープエッジに仕上げたパンチとダイでせん断された被加工材は、全面せん断面からなる平滑かつ直角度の優れた切口面であり、 5 万回目も初回とほぼ同様の良好な切口面が得られた。

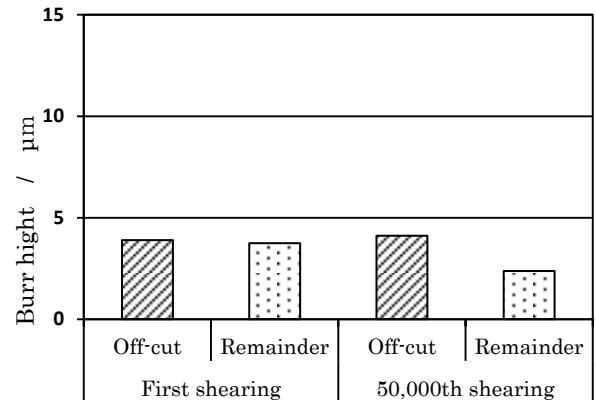
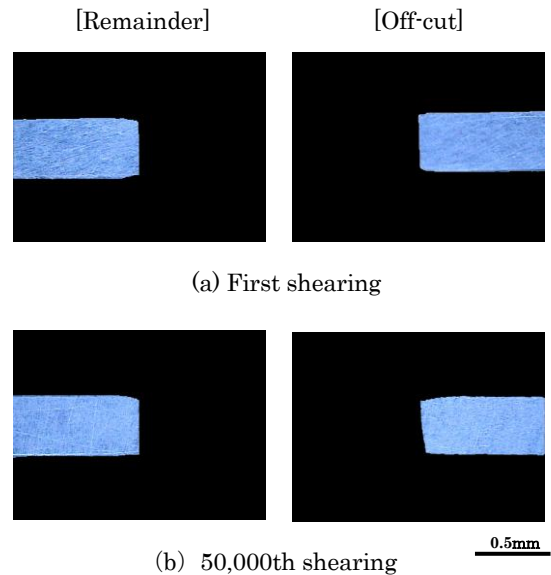


Fig.5 Change in burr height with increasing number of shearing



(a) First shearing

(b) 50,000th shearing

Fig.6 Cross section of sheared surface after the first and 50,000th shearing

3. ステンレス箔の打抜き

3.1 金型の製作

板厚が数十ミクロンの箔材の閉輪郭打抜きを行うには、シャープな刃先の工具を用いてクリアランスをほぼゼロに

設定しなければ大きなかえりが発生するばかりか、最悪の場合は材料分離ができないことがある。しかし、抜き輪郭全域にわたりクリアランスをゼロに設定した金型を製作することは極めて難しい。

そこで、Fig.7 に示すような方法でゼロクリアランス打抜き金型を製作する。すなわち、硬質なパンチでダイをシェービングする方法で、打抜き輪郭全域にわたりゼロクリアランスを設定した金型を製作する。この場合、被加工材がステンレスという難加工材であるため、工具の寿命を考慮すると、できる限り耐摩耗性に富む硬質なパンチで、これによりシェービング（切削）可能な、できるかぎり硬質な材質のダイを用いる必要がある。そこで、まずパンチをPCD製とし、これによりシェービング可能なダイの材質を選定することとした。

選定実験では種々の材質ダイを準備し、いずれも取り代0.03mmの条件で、サーボプレスを使用し、Fig.8 に示すような振動モーションを利用したシェービングを行った。

しかし、慣用シェービング (Fig.7(c)の逆押えがない状態) では、シェービング後にパンチをダイから抜き取る際（ストリッピング時）に、PCD製パンチの刃先に引張り力が作

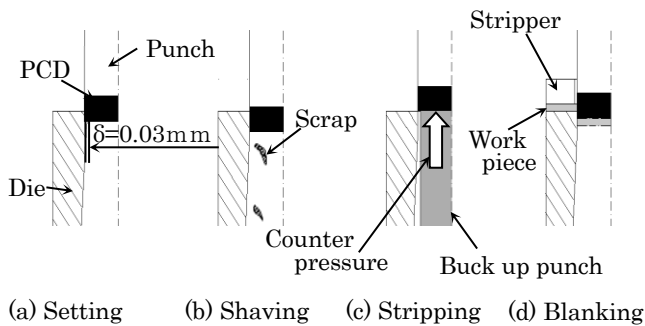


Fig.7 Flowchart of fabrication of zero-clearance blanking die and blanking process

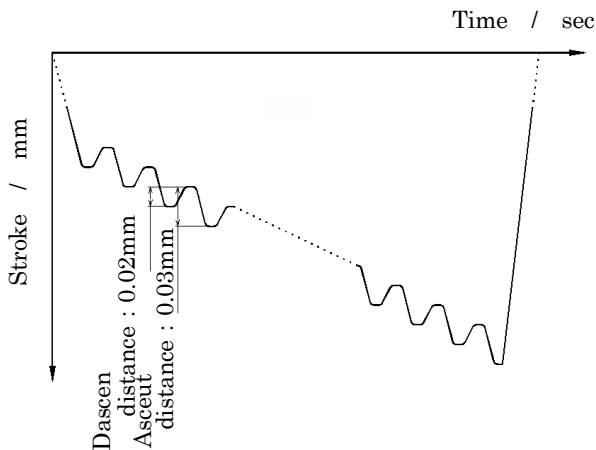


Fig.8 Motion diagram of slide in vibration shearing

用し、PCD製パンチの刃先の一部に割れが発生した。このため、Fig.9 に示すような逆押え装置を新たに製作し、これを金型下方に設置し、ダイクッション力を利用し、逆圧力を作用させた状態でストリッピングを行った。その結果、高速度工具鋼（日立金属 HAP10, 800HV）製ダイが問題なくシェービングできるようになり、ゼロクリアランス円形（φ4mm）打抜き金型の製作できるようになった。

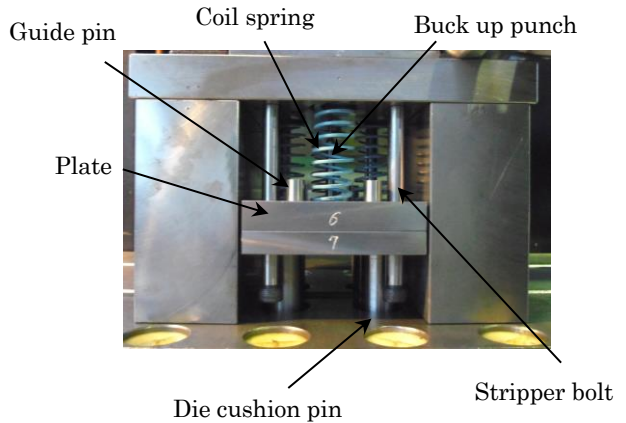


Fig.9 Stripping of die after shaving

3.2 打抜き実験

(a) 実験方法および条件

上記方法で製作したゼロクリアランス打抜き金型により、板厚 $t=20\mu\text{m}$ のステンレス箔（SUS304、引張強さ： $1290\text{N}/\text{mm}^2$ 、伸び：3%）の連続打抜き実験を行う。比較のため、超硬製パンチにより高速度鋼製ダイをシェービングしたゼロクリアランス金型も製作し、これによる打抜き実験も行う。

これら実験においては、いずれも 600kN サーボプレスを使用し、30spmにて1万回の連続打抜き加工を行う。

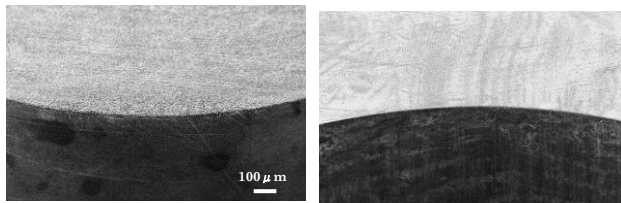
(b) 実験結果

Fig.10 に、1万回打抜き後のPCD製工具の刃先性状を示す。シェービングにより製作された高速度工具鋼製ダイの刃先はシャープに成形されており、1万回加工後においてもパンチ、ダイいずれの刃先にも摩耗や被加工材の凝着、チッピングなどの工具不良は認められなかった。

Fig.11 には、PCD製パンチと高速度鋼製ダイ、超硬製パンチと高速度鋼製ダイのそれぞれの組み合わせ工具により打抜いた箔の切口面を示す。いずれも1万回まで問題なく打抜くことができたが、超硬製パンチと高速度鋼製ダイにより打抜かれた切口面近傍には変形が認められた。

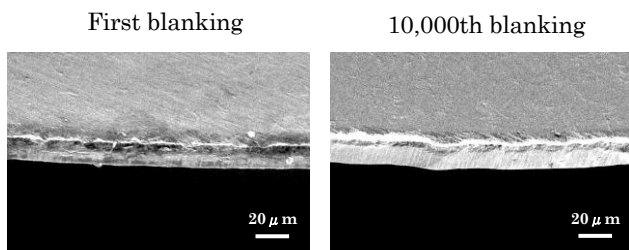
Fig.12 にそれぞれの工具で打抜かれた初回と1万回目に得られた切口面に発生したかえりの高さの測定結果を示す。

超硬製パンチと高速度鋼製ダイの組み合わせ工具により打抜かれた切口面のかえりは、加工回数の増加とともにその高さが増大したが、PCD製パンチと高速度鋼製ダイによる打抜きでは、かえり高さの増加傾向は極めて小さいものであった。

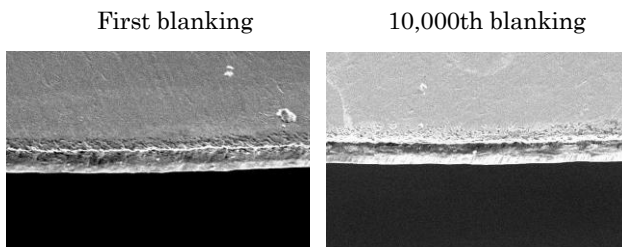


(a) PCD punch (b) High-speed steel die

Fig.10 Shape of tool edges after 10,000 blanking



(a) Carbide punch + High-speed steel die



(b) PCD punch + High-speed steel die

Fig.11 Cut surfaces obtained after the first and 10,000th blanking

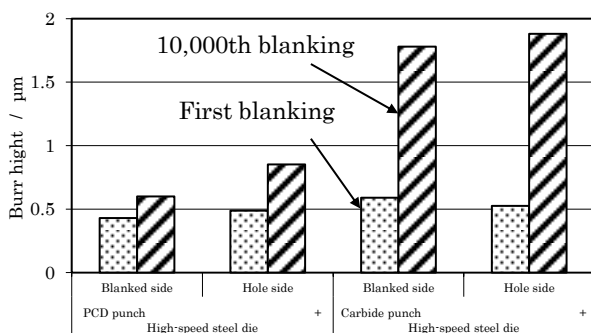


Fig.12 Change in burr height with increasing number of blanking

4. 結 言

焼結ダイヤモンド (PCD) 製工具のせん断工具への適用を目的とし、アルミニウム薄板の片持ち梁せん断金型と、ステンレス箔の打抜き金型への PCD 製工具の適用を試みた。これら実験研究により得られた知見および成果を以下にまとめる。

- 1) PCD をせん断工具へ適用する場合に解決しなければならない課題は、PCD チップの工具基材への接合技術と工具刃先をシャープエッジに仕上げるための加工技術の確立であることを改めて認識した。
- 2) 上記課題を解決し、PCD 製工具を備えた片持ち梁式ゼロクリアランスせん断金型を製作し、タブリードを想定したアルミニウム薄板の連続無潤滑せん断実験を行った。その結果、5 万回目まで平滑な切口面が得られ、かえり高さの増大も認められないことを確認し、同金型の実用化の見通しを得ることができた。
- 3) 閉輪郭の箔材を打抜く際は、パンチでダイをシェービングする方法を用いれば打抜き輪郭全周にわたりクリアランスをゼロに設定できる金型が製作できることを明らかにした。また、シェービング後にダイから PCD 製パンチをストリップングする際、逆圧力を負荷させた状態で行うことで PCD 製パンチへのチップング発生を防止できることを明らかにした。
- 4) PCD 製パンチを備えたゼロクリアランス打抜き金型を用いてステンレス箔の連続打抜き加工を行えば、かえり高さが 1 μ m 以下の高精度切口面が安定して得られることを実証した。

謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成を賜り実施したものであり、ここに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 鈴木清・二ノ宮進一・岩井学：電気加工学会全国大会講演論文集 (2009), 57.
- 2) 古閑伸裕・薄憲毅・許昌龍：塑性と加工, **53**-612 (2012), 74.
- 3) 薄憲毅・古閑伸裕：平成 24 年度塑性加工連合講演会講演論文集 (2012), 95.
- 4) 姜文赫・古閑伸裕：平成 24 年度塑性加工春季講演会講演論文集, (2012), 137.
- 5) 古閑伸裕・姜文赫・薄憲毅：塑性と加工, **54**-628 (2013), 446.
- 6) 前田禎三：精密機械, **24**-11 (1950), 575.