

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 30 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560117

研究課題名（和文） 導電性ダイヤモンドのプレス金型への適用技術開発

研究課題名（英文） Development of application technology to die tools of sintered polycrystalline diamond

研究代表者

古閑 伸裕（KOGA NOBUHIRO）

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：30215214

研究成果の概要（和文）：多結晶ダイヤモンド焼結体（Sintered polycrystalline diamond：PCD）の深絞り加工と打抜き加工の工具への適用技術開発と、その実用化を目指し、これら工具による連続加工を行った。その結果、PCD 製工具は、従来の鋼製工具に比べ、被加工材の工具への凝着防止効果に優れ、さらに、大幅な耐摩耗性向上効果があることが判明した。これら結果から、PCD 製工具は深絞りや打抜き工具として十分実用化が可能であると判断できる。

研究成果の概要（英文）：Continuous deep-drawing and blanking were carried out using polycrystalline diamond (PCD) tools with the aims of developing the technologies required to apply them in practical use. The adhesion of work material subjected to blanking to the PCD tools was markedly reduced compared with that in the case of conventional tools. In addition, the wear resistance of the PCD tools was markedly improved as compared with that of conventional tools. The above results show that PCD tools can be practically used in deep-drawing and blanking.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
平成 23 年度	500,000	150,000	650,000
平成 24 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、生産工学・加工学

キーワード：トライボロジー、ダイヤモンド、PCD、深絞り、打抜き、工具寿命

1. 研究開始当初の背景

環境破壊の観点から、脱脂剤として利用されていたフロンやトリクレンなどの使用が制限されるようになった。

このためプレス加工の分野においては、塩素系潤滑油などの使用が制限されるようになり、その対応に迫られている。

その対応策の 1 つとして硬質膜コーテッド工具の利用があるが、その取り扱いや工具

の寿命などに問題があり、その用途は限られている。

2. 研究の目的

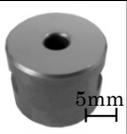
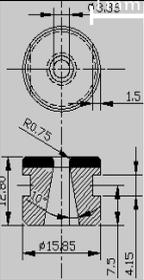
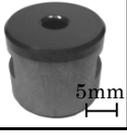
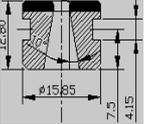
放電加工が行える焼結ダイヤモンド(PCD)厚板が開発された。この PCD がプレス金型工具へ利用できれば、硬質膜と同様のトライボロジー特性の改善がなされ、これにより成形品の精度悪化防止や工具の寿命向上が期待される。

代表的なプレス加工である、深絞り加工とせん断（打抜き）加工について、PCD 製工具を用いた連続加工を行い、その効果と実用性について調査検討する。

3. 研究の方法

- (1) 深絞り加工は、表 1 に示すような PCD 製工具（ダイとしわ抑え）と比較のための SKD11 製工具をそれぞれ順送金型へ組み込み、図 1 に示す工程で連続深絞り実験を行う。
- (2) 打抜き加工は、図 2 に示す PCD 製工具と同寸法の SKD11 製工具を準備し、これらをそれぞれ単抜き型にセットし、連続打抜き加工を行い、PCD 製工具の有効性と実用性を評価する。

表 1 深絞りダイの諸元

工具	外観	表面粗さ	寸法図
SKD11 製工具		0.09 μ mR a 0.50 μ mRz	
PCD 製工具		0.07 μ mRa 0.50 μ mRz	

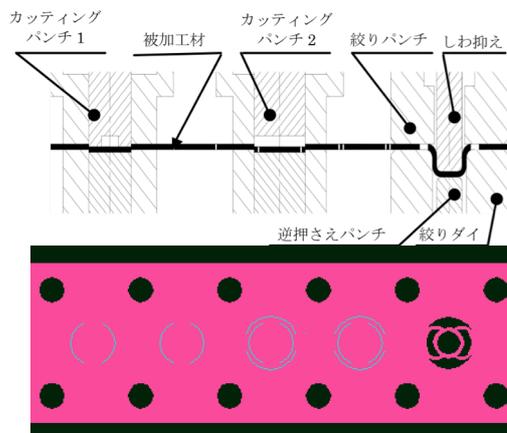


図 1 連続深絞り加工工程



図 2 PCD 製打抜きパンチとダイ

4. 研究成果

- (1) 深絞り加工：PCD 製工具と SKD11 製工具のそれぞれについて、5052 アルミニウム合金

板の無潤滑条件下での限界絞り比の調査を行った。その結果、図 3 に示すように、従来工具の場合は 1.91 であったのに対し、PCD 製工具を用いると 1.95 まで向上することが判明した。

つぎに、これら工具を用い、無潤滑連続深絞り実験を行った。その結果、慣用工具では 100 回程度の加工を行うと、ダイ肩アール部を中心にアルミニウムの焼付きや凝着が発生し、成形品側壁部には筋状縦傷の発生が顕著に認められるようになった。これに対し、PCD 製工具による加工では 5,000 回の無潤滑加工を行っても、工具への被加工材の凝着はほとんど発生せず、図 4 (a) に示す初回成形品とほぼ同様の性状を有する成形品（同図(b)）が得られた。

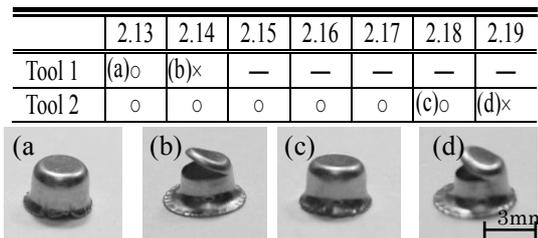
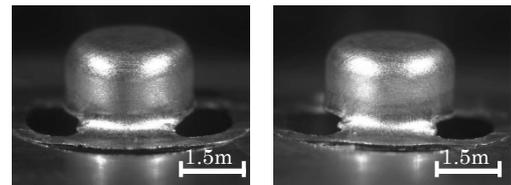
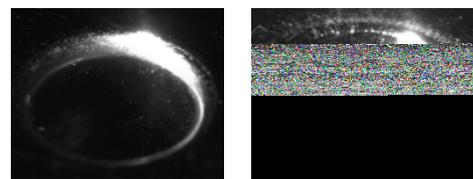


図 3 限界絞り比調査実験結果

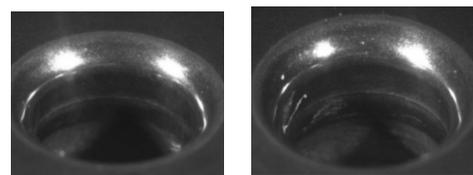


(a) 初回成形品 (b) 5,000 回目
図 4 PCD 製工具による成形品 (A5052, t=0.15mm)

つぎに、アルミニウムと同様に工具への凝着が問題になりやすい、ステンレス鋼板 (SUS304、板厚 t=0.1mm) についても、



(a) 加工前 (b) 30 回加工後
(A) SKD11 製ダイ



(c) 加工前 (d) 5,000 回加工後
(B) PCD 製ダイ

図 5 加工前後のダイの性状 (SUS304, t=0.1mm)

同様の実験を行った。この加工においても限界絞り比が2.13から2.18まで向上した。また、連続無潤滑深絞り加工においては、図5(b), 図6(b)に示すように、慣用工具ではわずか30回程度で凝着が発生し、30回目に得られた成形品側壁部には筋状傷の発生が認められた。これに対し、PCD製工具による加工では、図5(d), 図6(d)に示すように、5,000回の加工を行っても工具への凝着発生や成形品側壁部の性状悪化は認められなかった。

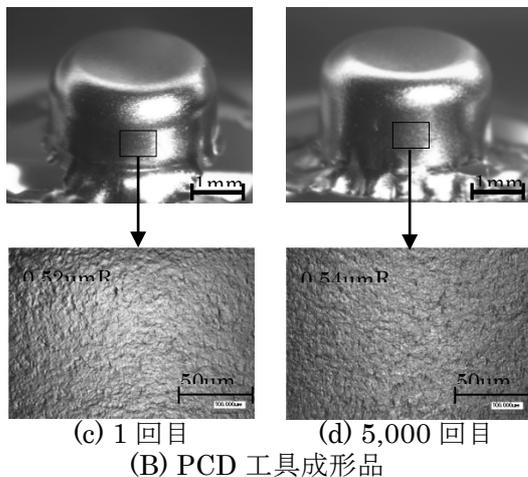
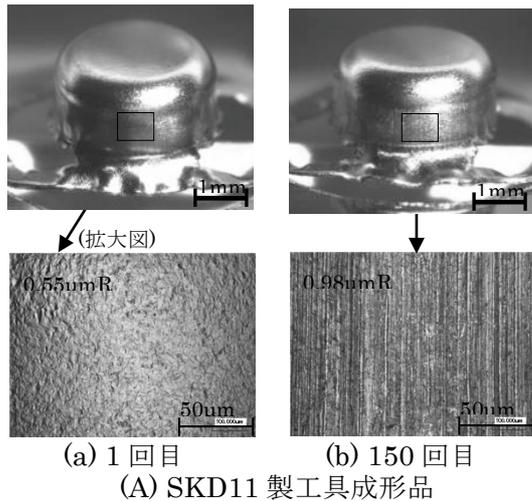


図6 それぞれの工具により得られた成形品の表面性状

(2) 打抜き(せん断)加工: 打抜きや穴あけなどのせん断加工に PCD 製工具が利用できれば、その優れた耐摩耗性や耐凝着性から、大幅な工具の寿命向上が期待できる。しかしこのような脆性の高い材質をパンチやダイに用いると、刃先に大きな衝撃力が作用するため、チッピングなどの工具不良が発生しやすい。また、ストリッピング時に工具基材にろう付けした PCD が剥離するのでは、といった不安がある。上記期待

の確認と不安を払拭のため、PCD 製工具による打抜き実験を行った。

まず、板厚 $t=1.0\text{mm}$ の 5052 アルミニウム合金板の無潤滑連続打抜き加工を行った。比較のために用いた SKD11 製(従来)工具の場合は、図7に示すように、加工回数の増加に伴い工具側面の凝着が激しくなった。これにより、図8に示すように、4,000回目に得られた切口面は全面が削られたような面に変化し、塑性バリと呼ばれる大きなかえりが発生するようになった。これに対し、PCD 製工具による打抜きでは、図9からもわかるように、10,000回の打抜き時まで工具の変化はほとんど認められず、10,000回目に得られた切口面は初回とほとんど変化が認められず良好な切口面であった(図10参照)。

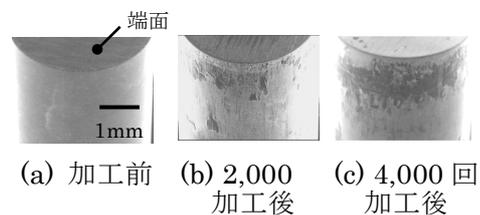


図7 SKD11 製パンチの性状 (A5052, $t=1\text{mm}$)

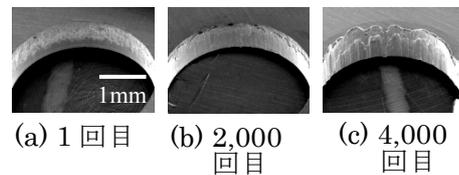


図8 SKD11 製工具で打抜かれた穴側切口面 (A5052, $t=1\text{mm}$)

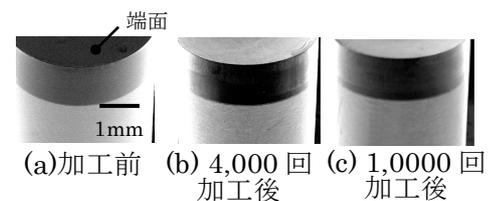


図9 PCD 製パンチの性状 (A5052, $t=1\text{mm}$)

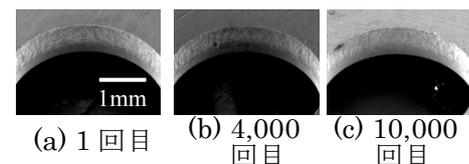
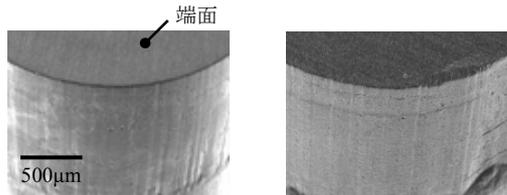


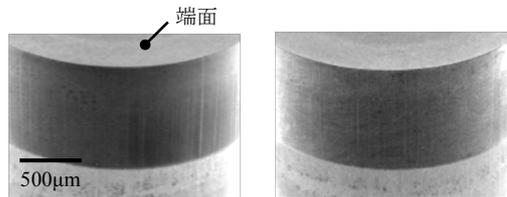
図10 PCD 製工具で打抜かれた穴側切口面 (A5052, $t=1\text{mm}$)

つぎに、板厚 $t=1.0\text{mm}$ の SUS304 ステンレス鋼板の連続打抜き加工を行った。

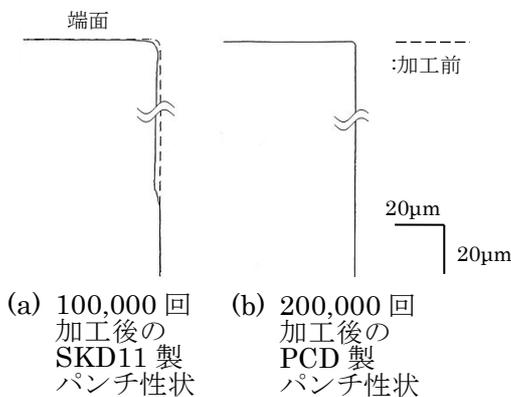
図 11 に従来工具（パンチ）と PCD 製工具のそれぞれの加工後の性状を示す。図 12 には加工後の工具刃先部の形状測定結果を示す。ステンレス鋼板の打抜きでは、アルミニウム合金板の場合のような大きな凝着物は発生しなかったが、従来工具の場合は、工具側面が大きく摩耗する現象が認められた。これに対し、PCD 製工具は 20 万回打抜き後においてもほとんど変化が認められなかった。



(a) 50,000 回加工後 (b) 100,000 回加工後
(A) SKD11 製パンチ



(a) 100,000 回加工後 (b) 200,000 回加工後
(B) PCD 製パンチ
図 11 打抜き加工後の工具性状 (SUS304、 $t=1\text{mm}$)



(a) 100,000 回加工後の SKD11 製パンチ性状 (b) 200,000 回加工後の PCD 製パンチ性状
図 12 SKD11 製工具および PCD 製工具加工後の工具輪郭形状 (SUS304、 $t=1\text{mm}$)

図 13 に、工具の摩耗と密接な関係がある、穴側と抜き落とし側の切口面にそれぞれ発生したかえりの高さを測定した結果を示す。この結果からも分かるように、従来工具は加工回数の増加に伴い大きく摩耗したことが理解できる。また、従来工具はパンチやダイの側面が大きく摩耗して

いるため、図 14 に示すように、穴の内径や抜き落とし品の外径が大きく変化する現象が認められた。

PCD 製工具は 20 万回の無潤滑打抜きを行っても、ほとんど工具の摩耗や切口面性状の変化が認められなかった。また、実験前に懸念された、チッピングの発生や PCD の基材からの剥離なども一切認められなかった。

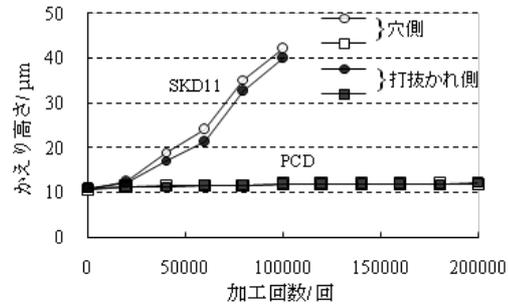


図 13 打抜き回数の増加に伴うかえり高さの変化 (SUS304、 $t=1\text{mm}$)

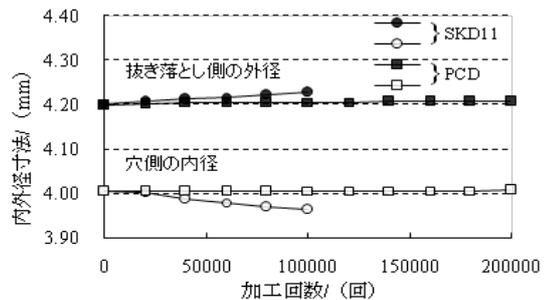


図 14 打抜き回数の増加に伴う内外径寸法の変化 (SUS304、 $t=1\text{mm}$)

これまで国内外で全く試みられていない、多結晶ダイヤモンド焼結体 (PCD) の深絞り加工工具と打抜き加工の塑性加工工具への適用を試みた。

その結果、いずれの加工においても PCD 製工具は、従来鋼製工具に比べ、被加工材の凝着防止効果や耐摩耗性向上効果が極めて高いことが明らかになった。

今後、PCD 製工具がプレス金型工具に多く活用されれば、金型のメンテナンス回数の削減や、無潤滑 (ドライ) 加工の実現に大きな貢献をもたらすことが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 古閑伸裕: ダイヤモンド工具による深絞り加工と打抜き加工、プレス技術、査読

- 無、51巻、2013、掲載決定済
- ② 古閑伸裕、姜文赫、薄憲毅：PCD 製工具によるアルミニウム合金板およびステンレス鋼板の無潤滑打抜き加工、塑性と加工（日本塑性加工学会）、査読有、57巻、2013、掲載決定済
 - ③ 古閑伸裕、薄憲毅、許昌龍：ダイヤモンド工具によるステンレス薄鋼板の無潤滑深絞り加工、塑性と加工、（日本塑性加工学会）、査読有、53巻、2011、74-78
 - ④ 古閑伸裕、許昌龍：5052アルミニウム合金板のダイヤモンド工具による無潤滑深絞り加工、軽金属（軽金属学会）、査読有、61巻、2011、107-111

〔学会発表〕（計6件）

- ① 薄憲毅、古閑伸裕、PCD 製工具によるステンレス鋼板の打抜き加工、第63回塑性加工連合講演会（日本塑性加工学会）、2012. 11. 5、北九州国際会議場
- ② 薄憲毅、古閑伸裕、PCD および cBN 工具による円筒深絞りの内面仕上げ加工、平成24年度塑性加工春季講演会（日本塑性加工学会）、2012. 6. 8、小松市（コマツ）
- ③ 古閑伸裕、姜文赫、PCD の打抜きおよび穴あけ工具への応用、平成24年度塑性加工春季講演会（日本塑性加工学会）、2012. 6. 7、小松市（コマツ）
- ④ 古閑伸裕、姜文赫、5052アルミニウム合金板のPCD 製工具による打抜き加工、第122回春期大会（軽金属学会）、2012. 5. 20、福岡市（九州大学）
- ⑤ 古閑伸裕、許昌龍、薄憲毅、ステンレス鋼板のダイヤモンド工具による無潤滑深絞り加工、平成23年度塑性加工春季講演会（日本塑性加工学会）、2011. 5. 28、東京都（早稲田大学）
- ⑥ 古閑伸裕、許昌龍、導電性ダイヤモンドの深絞り工具への適用、平成22年度塑性加工春季講演会（日本塑性加工学会）、2010. 5. 29、東京都（電気通信大学）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古閑 伸裕 (KOGA NOBUHIRO)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：30215214