

表面処理打抜き工具の寿命向上

日本工業大学 システム工学科

助教授 渡部 修一

(平成 11 年度研究開発助成 AF-99001)

キーワード：せん断、打抜き、工具寿命、表面処理

1. 研究の目的と背景

タレットパンチプレスに代表される各種NC工作機械の開発により、塑性加工分野においても生産の自動化が進められている。しかし、このような自動化が進むと夜間無人運転などが行われるようになり、従来作業者の目視などにより行われていた製品品質のチェックなどが困難となり、最悪の場合は大量の不良品を生む危険性が生ずる。

さて、一般に打抜き工具に発生する工具不良は、摩耗とチッピングである。摩耗には工具と被加工材間のすべり接触により発生するすべり摩耗と、加工中に被加工材の一部が工具に凝着し、これが堆積し脱落する際に工具の一部が脱落する凝着摩耗とがある¹⁾。すべり摩耗を低減するためには硬さの高い材質工具を用いれば有効であるが、一般には硬さが増すと脆性が高くなり、大きなチッピングの発生を招きやすくなるという危険性が高まる。また、凝着摩耗を低減するためには、被加工材が凝着しにくい材質の工具を用いる方法が有効と考えられる。しかし、被加工材の多くが金属であるため、金属との親和性が悪く打抜き工具として要求される十分な硬さと靱性を有し、コスト的にも量産金型工具に適用可能な工具材質は現在のところ見当たらない。

上記問題を解決するための1つの方法として、工具への表面処理^{2)~4)}がある。最近では従来の炭化や窒化などの表面硬化法のように処理後に大きな寸法変化や表面性状の悪化が生じないことから後加工を必要としない、PVDやCVDなどによる硬質膜コーティングやプラズマ熱処理などの表面処理技術が開発されている。

本研究では、被加工材のなかでも特に工具への凝着発生が顕著で、打抜き時の衝撃力が大きいなどの理由から難加工材とされているステンレス鋼厚板(SUS304, 板厚 2 mm)の角穴打抜きにおいて長寿命が得られる工具材質およびこれに適用可能な上記精密表面処理法を見いだすための実験研究を行う。

2. 工具材質選定実験

2.1 実験条件および方法

まず、板厚 $t=2$ mm の SUS304 材 (引張強さ: $649 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, 伸び: 43.2%) の打抜きに適用可能な工具材質を見いだすため、表 1 に示す 4 種類の材質工具による打抜き試験を行う。工具 1 は超硬合金のなかでは Co 含有量が大きく靱性に優れるとされている超硬合金製工具、工具 2 は

$0.5 \mu\text{m}$ 以下の WC で構成される超微粒超硬合金製工具、工具 3 は粉末ハイスのなかでは耐熱耐摩耗性に優れる SKH57 を基本組成とする粉末焼結金属、そして工具 4 は工具材質として広く利用されている SKH51 製工具である。

表 1 材質選定実験に用いた工具材質の特性 (平均値)

工具名	硬さ/HRA	抗折力/ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	商品名
工具 1	84	3090	G85
工具 2	91	3480	F20
工具 3	83.4	4220	KF217Y
工具 4	83.4	3920	(SKH51)

打抜き工具の形状および寸法は、図 1 に示すようなパンチコーナールが $R_p=0.2, 0.5, 0.8, 1.0\text{mm}$ の $\square 8 \text{ mm}$ の正方形とする。これら 4 対の材質工具を同時にセット可能な図 2 に示す金型を用いて打抜くこととする。工具クリアランスは一般的な打抜きにおいて推奨されている $C=10\%$ ($0.2\text{mm}/\text{side}$) とする。この金型を 30 トン精密高速プレス (LEM 9134 型) に取り付け、 200spm での連続打抜きを行う。この場合、打抜き目標回数は 2 万回とし、工具の摩耗やチッピングに対する影響をより少ない試験回数で把握できるよう無潤滑とする。

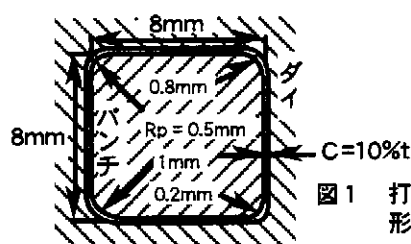
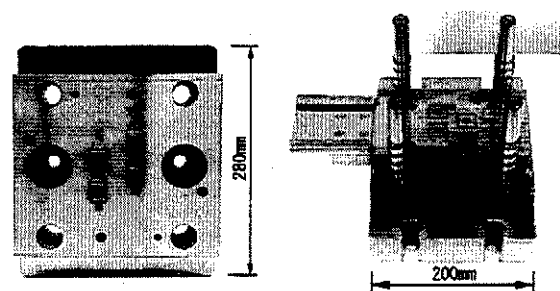


図 1 打抜き工具の形状と寸法



(a) 上型

(b) 下型

図 2 打抜き実験に用いる金型

試験後の評価は刃先部のSEMによる観察や形状測定および工具（パンチ）刃先の摩耗状態と相関が深いとされている打抜き品のかえり高さの測定により行うこととする。

2.2 実験結果および考察

打抜き試験を開始したところ、図3に示すように、工具1はわずか250回目付近でダイ直辺部に、工具2の場合は1200回目付近でパンチコーナール $R_p=0.2\text{mm}$ の個所にそれぞれ大きなチッピングが発生した。これらに対し、工具3と工具4は目視による観察で認められるような大きなチッピングの発生がなく2万回までの打抜きが行えた。しかし、工具3と工具4の粉末ハイス工具は、図4に示す各種パンチコーナール部の刃先形状測定結果（紙面の都合上、工具4のみの結果を示す）や、図5に示すかえり高さ測定結果からもわかるように $R_p\geq 0.5\text{mm}$ のコーナール部に比べ $R_p=0.2\text{mm}$ のコーナール部の摩耗が顕著に大きくなる傾向が認められた。またこれら工具の $R_p=0.2\text{mm}$ のコーナール部側面には図6に示すような細かなクラックの発生が認められた。なお、ダイの場合は、図示はしないが、いずれのコーナール部においても摩耗の程度はパンチに比べ小さく、アールの大きさによる差異もほとんど認められなかった。

以上の結果より、大きな衝撃力が工具に作用するSUS304厚板（ $t=2\text{mm}$ ）の打抜きにおいては、超硬合金のなかでは韌性に優れるとされるCo含有量の多い超硬合金製や超微粒超硬合金製を工具を用いても、チッピングの発

生が避けられないことがわかり、超硬合金のSUS304厚板打抜き用工具への適用は困難であることが判明した。また粉末ハイス製工具の場合は $R_p\geq 0.5\text{mm}$ のコーナール部を有する輪郭形状の打抜きには適用可能と判断できるが、コーナールが $R_p=0.2\text{mm}$ 程度の輪郭形状の打抜きでは大きな刃先摩耗が発生することから、このままの適用は困難であると思われる。

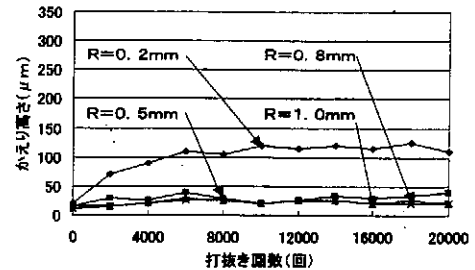
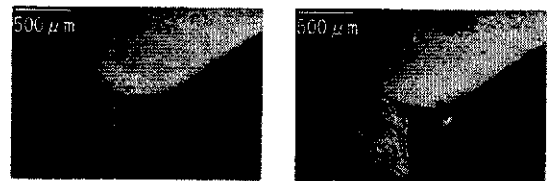


図5 打抜き回数増加に伴う打抜き品のかえり高さの変化（打抜き側、工具4）



(a) 工具3

(a) 工具4

図6 $R_p=0.2\text{mm}$ コーナール部（工具4）



(a) 工具1に発生したチッピング

(b) 工具2に発生したチッピング

図3 超硬合金製工具に発生したチッピング

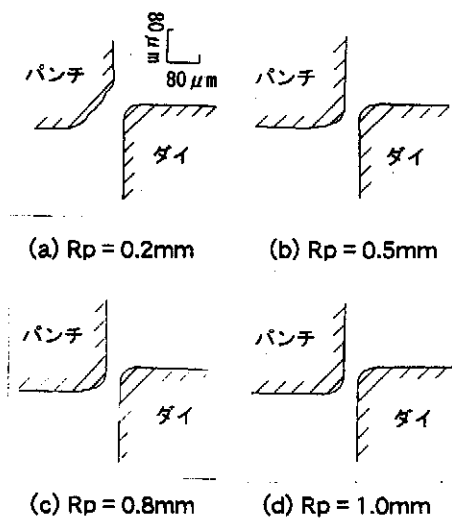


図4 2万回試験後の各種パンチコーナール部の刃先形状（工具4）

3. 表面処理工具の寿命評価試験

3.1 実験条件および方法

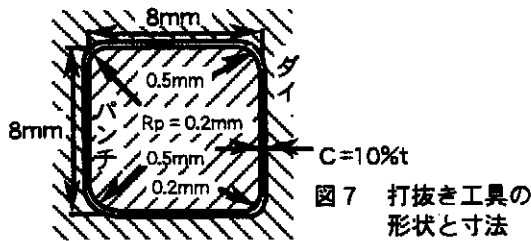
2章の実験結果から、表面処理基材となる工具材質としても、チッピング発生の問題から超硬合金製工具の適用は困難と考えられる。そこで、粉末ハイス製工具に表面処理を行えば、例えば $R_p=0.2\text{mm}$ 程度の小さなコーナールを有する輪郭の打抜きにおいても実用的な工具寿命が得られるようになるのではないかと考え、粉末ハイス製表面処理工具の寿命評価試験を行う。具体的には、現在市販されている粉末ハイスのなかから高韌性や耐摩耗性を特徴とする打抜き工具に適用可能と思われる、表2に示す4種類の粉末ハイス製を選定し、まずこれら材質の未処理工具について打抜き試験を行う。そして、最も長寿命が得られた粉末ハイス製工具について、PVDやCVDの薄膜蒸着によるコーティングのなかでは基材との密着力や硬さの観点から塑性加工工具に適した膜とされるTiCNのコーティング（PVD）と、処理後の基材の寸法変化が極めて少ない

表2 表面処理工具の寿命試験に用いた工具材質の特性（カタログ値）

工具名	硬さ/HRA	抗折力/ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	商品名
工具5	81.7	4704	HAP5R
工具6	81.1	6076	KHA3VN
工具7	85.0	4508	KHA33N
工具8	81.8	記載なし	MH85

浸透拡散法の1つであるプラズマ窒化を施し、これら表面処理工具について打抜き寿命試験を行う。

なお、この打抜き試験においては、2章の実験において $R_p = 0.5\text{mm}$ 以上ではほとんど R_p の違いによる差異が認められなかったため、図7に示すように対角の位置に $R_p = 0.2\text{mm}$ と $R_p = 0.5\text{mm}$ との2つの大きさのコーナールを有する形状の工具（1辺が8mmの正方形パンチ）を用いて試験を行うこととする。その他の条件は2章の実験条件と同一とする。



3.2 実験結果および考察

まず、上記4種類の粉末ハイス製工具（未処理工具）による2万回の打抜き寿命試験を行った。図8に2万回打抜き後のそれぞれのパンチのコーナール ($R_p = 0.2\text{mm}$) 部刃先のSEM観察結果を、図9に同刃先の形状測定結果を示す。パンチコーナール $R_p = 0.2\text{mm}$ では工具7以外のすべての工具刃先部に、また $R_p = 0.5\text{mm}$ では工具5と工具8のそれぞれの刃先部にチッピングの発生が認められた。また図10に示す打抜き品の $R_p = 0.2\text{mm}$ に相当する部分のかえり高さ測定結果からもわかるように、刃先のダメージが大きい工具で打抜かれたものほどかえり高さの増大が顕著となることがわかった。

以上の結果から、これら4種類と2章の実験で用いた粉末ハイス製工具（工具3と工具4）の6種類のなかでは、チッピング発生がなく工具3や工具4に比べ摩耗量が少ないという観点から工具7（KHA33N）が表面処理基材として最適であることが判明した。

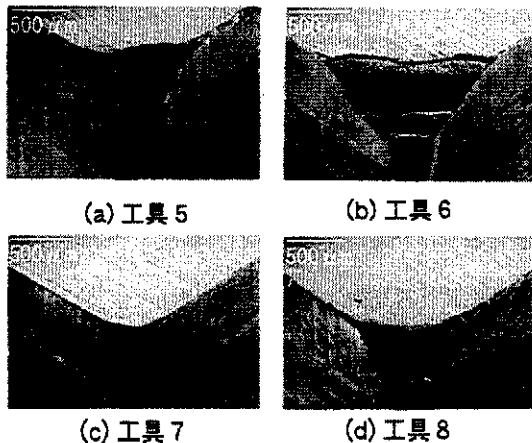


図8 2万回試験後の各種材質パンチ刃先部のSEM観察結果（未処理工具、 $R_p = 0.2\text{mm}$ ）

なお、この試験においても図11に示すように、いずれの材質のダイ刃先にもチッピングなどの工具不良は認められなかったことから、ダイの表面処理基材としてはいずれの粉末ハイスも適用可能と考えられる。

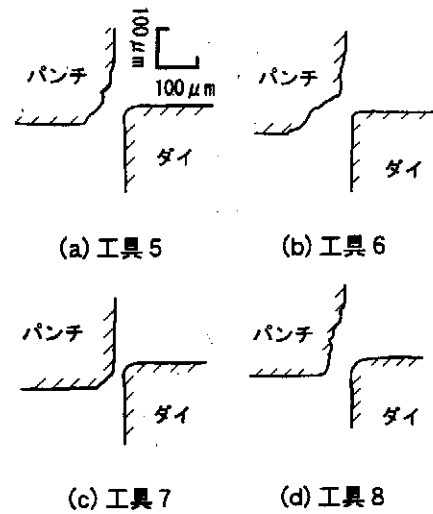


図9 2万回試験後の各種材質パンチ刃先部の形状（未処理工具、 $R_p = 0.2\text{mm}$ ）

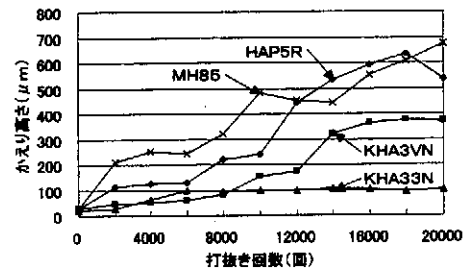


図10 試験回数増加に伴う打抜き品かえり高さの変化（未処理工具、 $R_p = 0.2\text{mm}$ ）

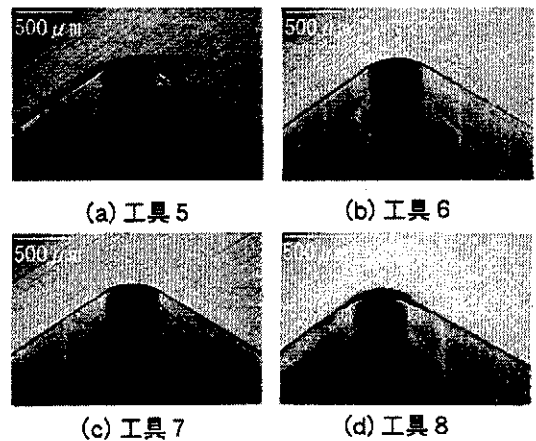


図11 2万回試験後の各種材質ダイ刃先部のSEM観察結果（未処理工具、 $R_d = 0.4\text{mm}$ ）

つぎに、KHA33Nを基材としたTiCNコーテッド工具とプラズマ窒化を施した工具の2種類の表面処理工具について2万回の打抜き寿命試験を行った。

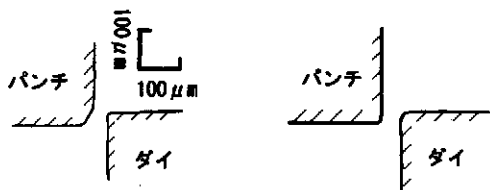
図12にそれぞれの表面処理工具の試験後のパンチ刃先SEM写真観察結果を、図13に工具刃先部形状測定結果

を示す。いずれも同材質の未処理工具 (図8 (c), 図9 (c)) に比べ摩耗の程度が小さいことがわかった。また、これら表面処理工具では、図14に示すように打抜き回数が増加してもかえり高さの小さな打抜き品が安定して得られることがわかった。さらにこれら表面処理工具 (パンチ) を詳細に観察した結果、TiCN コーテッド工具の場合は、図12 (a) に示す試験後の SEM 観察結果からわかるように被加工材 (SUS 304) の凝着がほとんど認められなかったことから、TiCN コーティングは SUS304 の工具への凝着防止効果が高いことがわかった。ただし、TiCN コーテッド工具は図12や図13の測定結果からもわかるようにプラズマ窒化処理工具に比べパンチ刃先の摩耗量がやや大きくなっており、この摩耗深さは $20\ \mu\text{m}$ 以上であることから $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 程度の膜厚の TiCN 膜はこの部分では完全に消失していると考えられる。プラズマ窒化処理工具は刃先の摩耗は小さかったものの、試験後の SEM 観察結果 (図12 (b)) からわかるように、工具側面には被加工材 (SUS 304) と思われる凝着物の発生が多く認められた。



(a) TiCN コーテッド工具 (b) プラズマ窒化処理工具

図12 2万回試験後の各種表面処理工具 (パンチ) 刃先部の SEM 観察結果 ($R_p=0.2\text{mm}$)



(a) TiCN コーテッド工具 (b) プラズマ窒化処理工具

図13 2万回試験後の各種表面処理工具 (パンチ) 刃先部の形状 ($R_p=0.2\text{mm}$)

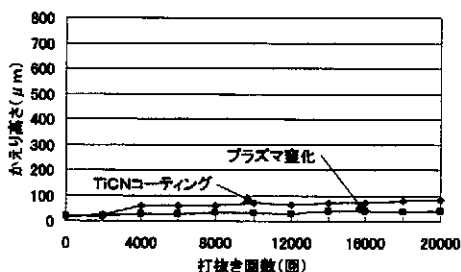


図14 試験回数増加に伴う打抜き品かえり高さの変化 (表面処理工具, $R_p=0.2\text{mm}$)

以上の結果から、TiCN コーティングやプラズマ窒化の表面処理はいずれも工具寿命向上に効果が高いことが明らかになった。

TiCN コーテッド工具の長寿命が得られた原因は、大きな圧力が作用する条件下で大きなすべりが生ずる刃先部で

は、比較的少ない加工回数時点ですべり摩耗により TiCN 膜が剥離するが、工具側面には膜が存在するため摩耗の拡大が防止され、未処理工具に比べ摩耗量が低減できたと考えられる。

プラズマ窒化処理工具の場合は、浸透拡散法により硬化層が生成されているため TiCN のような硬質層の剥離が生じにくいため、刃先の摩耗が低減され、長寿命が得られたと推察される。しかしこのプラズマ窒化処理工具には、上述したように工具側面に被加工材と思われる凝着物の発生が顕著に認められたことから、さらに加工を行えば工具不良や製品不良を招く危険性があると考えられる。

そこでこのプラズマ窒化処理工具についてのみ、さらに試験を続行したところ、3万7千回付近でパンチコーナール $R=0.2\text{mm}$ 部にチッピングが発生した。

4. おわりに (まとめ)

打抜き工具寿命が極めて短いなどの理由から、難加工材とされているステンレス鋼厚板 (SUS304, 板厚 $2\ \text{mm}$) の角穴打抜きにおいて、実用的な長寿命が得られる工具材質およびこれに適用可能な表面処理法を見いだすことを目的とした実験研究を行い、次のような結論を得た。

- 1) 靱性が高いと考えられる Co 含有量の多い超硬合金製工具や超微粒超硬合金製工具を用いても、大きなチッピングの発生が回避できなかったことから、超硬合金製工具の適用は難しいと判断できされる。
- 2) 粉末ハイス合金製工具を用いれば大きなチッピングなどの工具不良を発生することなく打抜きが行えたが、 $R_p=0.2\text{mm}$ 程度の小さなコーナールのパンチ刃先部では摩耗が顕著となることが判明した。
- 3) 未処理状態で大きなチッピング発生が認められなかった粉末ハイスを基材とした TiCN コーテッド工具とプラズマ窒化処理工具の寿命試験を行ったところ、いずれも未処理工具に比べ大幅な寿命向上が認められた。
- 4) TiCN コーテッド工具において寿命が向上した原因は、TiCN 膜の剥離が発生しなかった工具側面でのすべり摩耗が防止されたため、またプラズマ窒化処理工具の場合は、大きな圧力やすべりが発生する刃先付近でも硬化層の脱落が生じにくくなったためと推察される。
- 5) プラズマ窒化処理工具は3万7千回目付近でチッピングが発生した。これは同工具には TiCN コーテッド工具のような被加工材の凝着防止効果がないためと考えられる。従って、プラズマ窒化処理後に TiCN などの凝着防止効果の高い硬質膜をコーティングした工具を用いればより長寿命が得られることが期待できる。この点については今後調査検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 前田禎三：機械学会誌, 69-568 (1966), 609.
- 2) 青木 勇ほか：塑性と加工, 30-342 (1989), 988.
- 3) 古閑伸裕ほか：塑加春論集 (1995), 81.
- 4) 濱田正樹：178回塑加シンポジウムテキスト, (1998), 51.