

ホットスタンピング用熱間せん断工具の開発

日本工業大学 機械工学科

教授 古閑 伸裕

(平成 27 年度 一般研究開発助成 AF2015002)

キーワード：せん断，熱間穴あけ，ホットスタンピング，工具寿命，セラミックス，コーティング

1. 研究の目的と背景

輸送機器の安全性向上や軽量化を目的に，高強度鋼板の利用率が拡大している．しかし，引張強さが 1000MPa 以上の超高強度鋼板のプレス成形においては，成形限界の低下や形状凍結性の悪さ，さらには大きな成形荷重の発生に伴う金型工具の寿命低下などの問題発生が予想される．これら問題を解決するための加工法として，ホットスタンピングがある．さらにこの加工法の効率向上の観点から高効率多段ホットスタンピング¹⁾や通電加熱を利用した加工法²⁾の開発などが進められている．しかし，特に大きな負担が強いられる，熱間穴あけやトリミングなどのせん断加工では，早期の工具劣化による切口面の悪化が懸念される．

本研究では，放電加工による成形が可能なエンジニアリングセラミックス製工具や各種耐熱皮膜コーテッド工具の上記熱間穴あけ工具としての実用性について調査検討する．

2. セラミックス工具による穴あけ

2.1 実験条件および方法

図 1 に示す構造の金型に，ジルコニア (HV1300)，窒化ケイ素 (HV1500)，炭化ケイ素 (HV2000) 製のパンチ (いずれも外径：10.00mm) をそれぞれ組み込み，表 1 に示す機械的性質のボロン鋼 (板厚 $t=1.6\text{mm}$) の連続熱間穴あけ加工を行う (無潤滑)．この場合，いずれのパンチも刃先には，0.2mm のアールを設ける．また，いずれのパンチを用いた穴あけ加工においても耐熱性が高い超合金 (富士ダイス：C95) 製ダイを用いる．これらダイの穴径はいずれも $\phi 10.02\text{mm}$ (片側クリアランス $C=0.01\text{mm}$) とし，ダイ刃先にも 0.1mm のアールを設ける．

実験は，シリコニット加熱炉にて 1050°C で約 3 分間加熱保持したブランクを，600kN サーボプレスにセットした金型内のリフターピン上にのせて穴あけを行う．なお，穴あけ直後の被加工材を焼入れ油によ

り急冷し硬さを測定したところ，HV510 であり，焼入れによる材料強度の向上が行われていることが確認された．

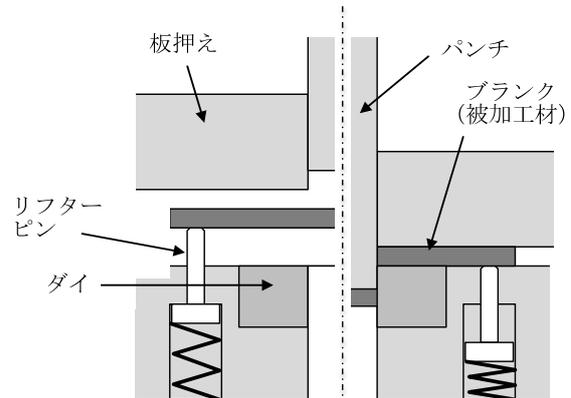


図 1 熱間穴あけ金型の構造概略図

表 1 被加工材 (ボロン鋼) の機械的性質

耐 力	366 N/mm ²
引張強さ	530 N/mm ²
伸 び	34.3 %
硬 さ	HV152

2.2 実験結果および考察

3 種類のセラミックス製工具 (パンチ) による熱間連続穴あけ加工を行った．その結果，図 2 に示すように，ジルコニア製工具と炭化ケイ素製工具は，わずか穴あけ加工 300 回付近で，窒化ケイ素製工具は 800 回付近で，それぞれパンチ刃先付近に割れが発生した．これらの割れ発生の形態は，ジルコニアと窒化ケイ素はパンチ端部が剥がれるように割れたのに対し，炭化ケイ素は刃先具が脱落するような形態で割れが発生した．ただし，これらセラミックス工具には被加工材が凝着しづらいためか，割れ発生直前に得られた切口面は加工開始時に得られた切口面とほぼ同様の平滑な切口面であった．

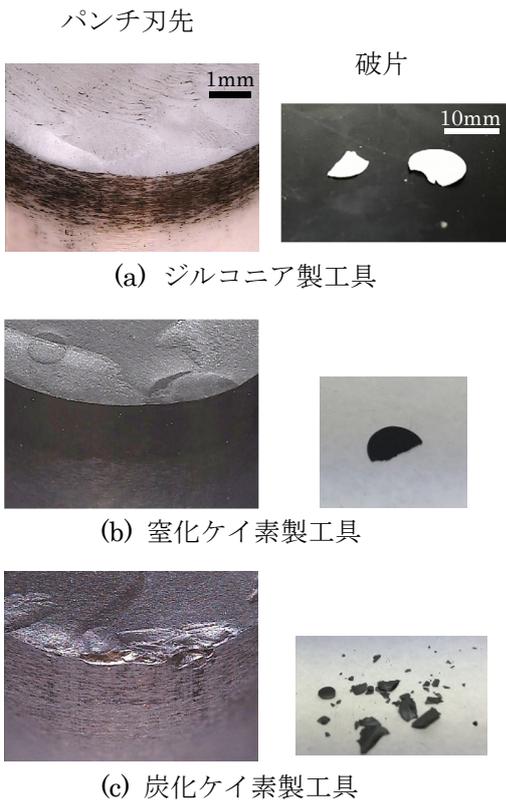


図2 割れが発生したセラミックス製工具とその破片

3. コーテッド工具による穴あけ

3.1 実験条件および方法

まず、焼戻し温度が高いことから高温での加工に広く用いられている合金工具鋼SKD61 (HV560) を基材とするコーテッド工具による熱間連続穴あけ実験を行う。この場合、表2に示す工具1と工具2のAlCrNとTiAlNをそれぞれコーティングした工具と、比較のためのノンコーテッド工具(工具3)を用いる。なお、AlCrN、TiAlN いずれも単体では脆性が高いため、いずれの膜も韌性に優れるCrNと交互に3層積層した多層膜とした(PVDプロセスにより成膜)。

つぎに、皮膜の基材への付着力をより高めるため、すなわち、工具寿命のさらなる向上を目的として、高速度工具鋼SKH40 (HV1020) を基材とし、上記2種類のコーテッド工具に加え、工具6と工具7のコーテッド工具と工具8のノンコーテッド工具について穴あけ実験を行った。工具6はAlCrNとAl_(1-x)V_(x)Nの複合皮膜であり、工具7はAlCrSiNの単層膜である(PVDプロセスにより成膜)。

なお、上記全ての工具の基材の刃先アールはセラ

ミックス工具よりやや小さな0.1mmとした。その他の条件、すなわちプレス機械、金型、加熱条件や方法などの実験条件、加工条件は2章のセラミックス工具の実験と同一とした。

表2 穴あけ実験を行うコーテッド工具

工具 No.	基材 (硬さ)	膜種	膜厚 / μm	膜硬さ / GPa
1	SKD61 (560HV)	AlCrN+CrN	3	30
2		TiAlN+CrN	3	25
3		ノンコーテッド	—	—
4	SKH40 (1020HV)	AlCrN+CrN	3	30
5		TiAlN+CrN	3	25
6		AlCrN+Al _(1-x) V _(x) N	5	28
7		AlCrSiN	3	30
8		ノンコーテッド	—	—

3.2 実験結果

(1) 合金工具鋼を基材とするコーテッド工具

工具1～3について、熱間連続穴あけ加工を行った。ノンコーテッド工具(工具3)は、図3(b)に示すように、2000回で工具刃先が大きく摩耗し、側面には被加工材と思われる凝着物の発生が認められた。これに対し、工具1と工具2のコーテッド工具は2000回後も、同図(c), (d)に示すように、工具1に比べ刃先の摩耗や側面への凝着物の発生は少ないことがわかった。しかし、SEMにて刃先を詳細に観察し

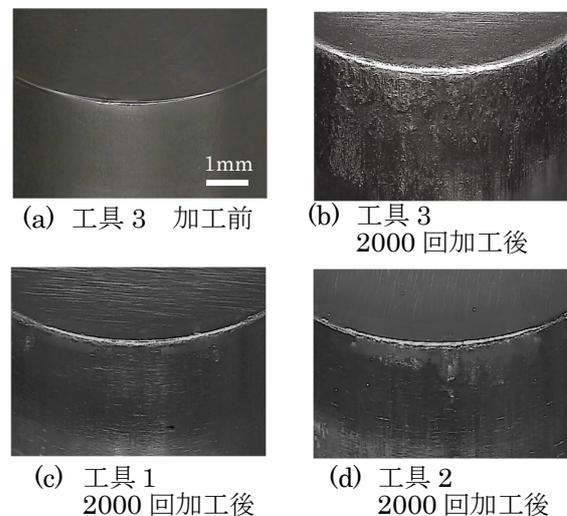
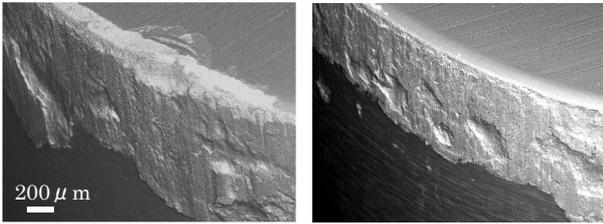


図3 工具1～3の穴あけ加工後の性状

た結果、図4に示すように刃先から側面にかけてコーティング膜の剥離が認められ、刃先のシャープさも失われていることが判明した。



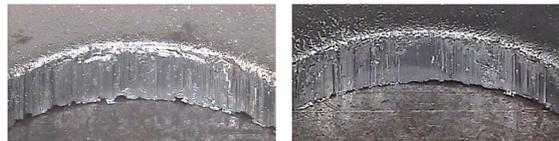
(a) 工具1 (b) 工具2

図4 コーテッド工具 2000 回加工後の刃先
(基材：SKD61)

図5に、工具1～工具3により穴あけした2000回目(比較のため、工具3の穴あけ初回切口面も示す)。工具3の場合は500回目頃から大きなだれや切口面の抜き方向に大きな縦傷が発生し、大きなかえりの発生も認められるようになった。このかえりは、図6に示すように、加工回数の増加とともに増加しているが、コーテッド工具(工具1、工具2)のほう



(a) 工具3により得られた初回切口面 (b) 工具3で2000回目に得られた切口面



(c) 工具1で2000回目に得られた切口面 (d) 工具2で2000回目に得られた切口面

図5 工具1～3により得られた穴部切口面

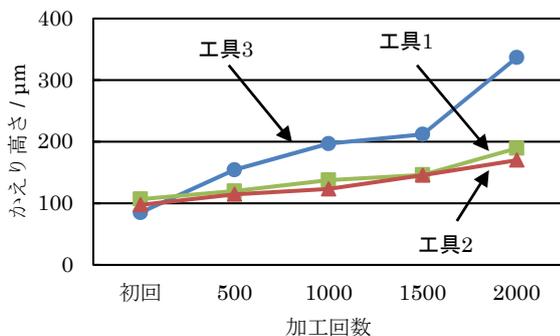


図6 工具1～3により得られた切口面の加工回数増加に伴うかえり高さの変化

がその増加の程度は小さいことから、これら工具はノンコーテッド工具(工具3)より刃先の劣化が少ないことが予測できる。ただし、工具2と工具3の場合も1000回目頃から切口面に傷の発生が顕著に認められるようになった。これは前述したように、工具刃先のコーティング膜の剥離や刃先の劣化によるためと推察される。

以上の結果から、コーテッド工具を用いることで工具刃先の劣化防止や工具側面への被加工材の凝着防止効果は認められるものの、刃先近傍で比較的早期にコーティング膜が剥がれることから、実用的な加工回数までコーティングの効果が発揮できないことが予想される。

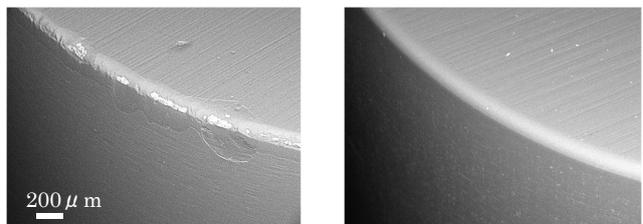
(2) 高速度工具鋼を基材とするコーテッド工具

つぎに、合金工具鋼より硬度が高く耐熱性や耐摩耗性に富む、高速度工具鋼を基材とした各種コーテッド工具による熱間連続穴あけ実験を行った。

工具8のノンコーテッド工具の場合は、合金工具鋼製のノンコーテッド工具(工具3)と同様に、2000回加工後には被加工材の凝着が顕著に認められ、切口面も大きく悪化した。

工具4と工具5の場合は、基材を高速度鋼に変えても1000回頃から穴側切口面に傷の発生が認められるようになった。そこでこれら工具について、刃先の観察を行った。その結果、合金工具鋼基材の工具3の1000回加工後よりその程度は少なかったものの、コーティング膜の剥離が認められた。すなわち、基材を硬さの高い高速度工具鋼にしたことで、膜の基材への付着力がやや向上したものの、実用的に利用できるような工具寿命が得難いと判断し、1000回で実験を中止した。

工具6と工具7についても同様の実験を行った。これらコーテッド工具の2000回加工後の刃先性状を図7に示す。工具6 ($\text{AlCrN}+\text{Al}_{(1-x)}\text{V}_{(x)}\text{N}$)の多層



(a) 工具6 (b) 工具7

図7 コーテッド工具 2000 回加工後の刃先
(基材：SKH40)

膜)は、刃先の一部に膜の剥離が認められたものの工具刃先や端面、側面には被加工材の凝着発生はほとんど認められなかった。すなわち、コーティングにより工具の凝着摩耗は大幅に低減できることが予想される。工具7 (AlCrSiN 単層膜)は2000回加工後においても膜の剥離や凝着物の発生は認められず、加工初期の状態が維持されていた。

図8に工具4と工具5の1000回目と、工具6と工具7の2000回目に得られたそれぞれの切口面及び切口面表面粗さの測定結果を示す。工具4～工具6にて得られた切口面には縦筋の発生が認められた。これらに対し、工具7により得られた切口面は2000回目においても平滑な切口面が得られた。

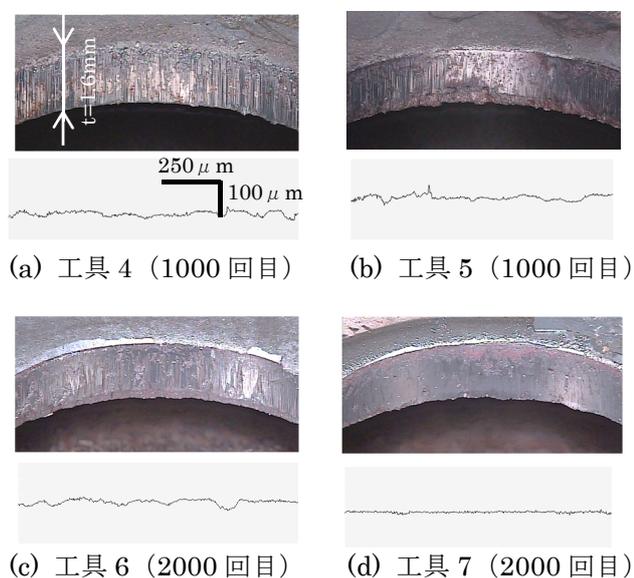


図8 工具4～7により得られた切口面

図9には、工具4～工具7により穴あけした抜き落とし側かえり高さの測定結果を示す(パンチ刃先の劣化程度は抜き落とし側のかえり高さに影響する)。この結果からも、工具7は熱間せん断に利用可能な

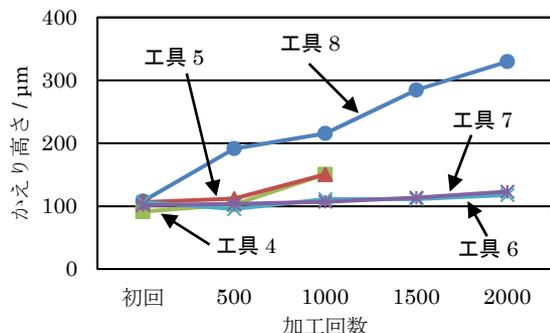


図9 工具4～6により得られた切口面の加工回数増加に伴うかえり高さの変化

工具であると判断できた。

4. まとめ

冷間せん断に比べて衝撃荷重などの低下が期待できる熱間せん断においても、いずれのセラミックス製工具も加工途中で割れが発生し、工具としての利用は困難であることがわかった。

耐熱皮膜をコーティングした工具による熱間せん断においては、本実験に用いたコーテッド皮膜はいずれも被加工材の工具への凝着防止効果があることが確認できた。また、基材の硬さが皮膜の基材への付着力向上に影響することも確認できた。しかし、熱による膨張や収縮、さらには荷重負荷による変形により、冷間加工に比べ早期に皮膜の剥離が発生する現象が認められた。このように剥離が発生すると同部への被加工材の凝着が助長し、工具の凝着摩耗が促進されてかえりが増大する現象や、凝着物との接触により切口面が悪化する現象が認められた。

本実験において評価したコーテッド工具のなかで、AlCrSiN コーテッド工具は、上述したような現象が発生することなく、安定した加工が行えることが判明した。これは、AlCrSiN が他の皮膜に比べ耐熱性に優れていることに加え、他の膜に比べ弾性変形量が大きいため、熱や荷重負荷による基材の変形に追従できたことで剥離が防止でき、工具の寿命が向上したと推察される。

謝辞

本研究は、公益財団法人天田財団の平成27年度一般研究開発助成 AF-2015002 の支援を受けて実施した研究であり、ここに記して、心より深く感謝の意を表す。

また、本研究の実験をお手伝いいただいた、日本工業大学卒研究生の豆沢雨、片岡優次の両君に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) M.Suehiro, J.Maki, K.Kusumi, M.Ohgami and T.Miyakoshi: Nippon Steel Tech. Rep., (2003), No.77, 16.
- 2) 森謙一郎, 山田弘明, 前野智美, 家田和典: 塑性と加工, 54-627 (2013), 343-347.
- 3) 本多史明, 井上謙一: 日立金属技報, Vol.31 (2015), 40-47.