



K. Nakamura

980MPa 級高張力鋼板の高精度穴あけ加工に用いる 工具のコーティングと潤滑剤の組合せ効果

中村 健太*

1. はじめに

近年、自動車用部品を中心に、安全性の向上、軽量化の観点から、高張力鋼板（以下、ハイテン材と称す）の適用が進んでいる。また、ハイテン材は従来の 500 MPa 級や 700 MPa 級に比べて引張強度が高い 1 GPa 級のものが汎用され始めている。高強度ハイテン材の魅力は、生材のままで十分な強度を有するために、一般構造用鋼や数百 MPa 級のハイテンを用いるよりも軽量化できる点、同一強度を一般構造用鋼で得ようとしたときに必要な熱処理などの後工程を省略することができる点にある。

一方、高強度ハイテンを含む高強度材を高精度でせん断加工する場合に問題となるのが工具の摩耗であり、加工時には、工具素材の高強度化、工具の表面改質、潤滑油組成の最適化などの対策を講じる必要がある。特に潤滑油においては、塩素系や硫黄系の極圧添加剤を含んだ潤滑油が用いられている。しかしながら、添加剤は潤滑油が焼却処分されるときに環境負荷物質として排出される可能性があり、地球環境負荷保護の観点から、使用量の削減が求められている。一般には、コーティングと極圧添加剤を組み合わせることで摩耗抑制が図られているが、耐摩耗性向上のメカニズムの十分に検討されていないと思われる。

そこで本報では、工具の耐摩耗性をコーティングが補うことが出来るとの発想に基づき、高強度ハイテン材の高精度せん断加工に、添加剤を含まない潤滑油とコーテッド工具を組み合わせ用いた場合の、工具の耐摩耗性について検討した結果について報告する。

本研究では、まず、極圧添加剤を含む専用潤滑油（以下、市販油と称す）と添加剤を一切含まない鉱物油（以下、無添加油と称す）を用いて、添加剤が工具の耐摩耗性に与える影響について調べ、次いで、工具素材が工具の耐摩耗性に与える影響を調べ、最後に、コーティングと無添加油の組合せ効果について調べた。なお、本研究では、穴あけ加工を対象として、パンチの材質、コーティングならびに潤滑剤の効果を調べたため、パンチ側の摩耗と製品穴側の切り口面性状を評価対象とした。

2. 精密せん断加工実験

2.1 プレス機および金型

実験にはクランクプレスを用いた。また、金型は図 1 に示すようなもので、板押えを有さない固定ストリッパタイプの打抜き型を用いた。固定ストリッパーはダイの刃先より 1.4mm 高い位置に設置されており、パンチ引抜時に被加工材をパンチから引き離すために組み込んである。また、後述す

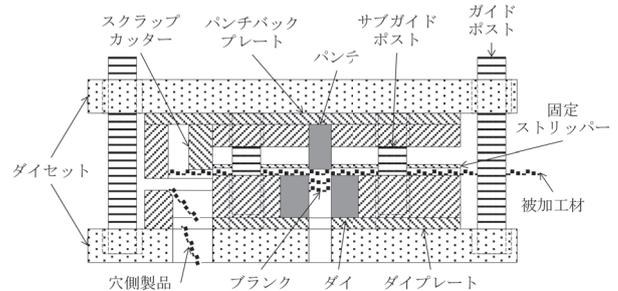


図 1 高精度穴あけ加工用金型の概略図

るように、パンチとダイのクリアランスは公差を含めて 1% 未満となるように設計したため、加工時の工具の位置精度はサブガイドポストにより保証している。

2.2 パンチ、ダイ、被加工材、加工油

パンチには、素材が超硬（富士ダイス(株)製、D40 材種）と工具鋼 SKD11 のものと、超硬を基材とし物理蒸着法により TiN をコーティングしたものを準備した。また、ダイはいずれのパンチに対しても超硬（富士ダイス(株)製、VG86 材種）のものを用いた。パンチの形状は円筒形で、刃先はシャープエッジで、ダイはリング形状で、刃先はシャープエッジである。また、ダイは SKD11 製のダイフォルダに焼嵌めてある。ここで、パンチの外径寸法は $10_{0}^{+0.005}$ mm、ダイの内径寸法は $10.02_{0.005}^0$ mm で設計し、仕上がり寸法は、パンチとダイの片側クリアランスが板厚の 1% 未満となるようにした。

加工油には、非塩素系の市販油と添加剤を一切含まない無添加油を用いた。市販油は精密打抜き用の一般的なもので活性硫黄化合物が添加されている。無添加油は、鉱物油で市販油の動粘度（40℃で 120mm²/s）と同一動粘度のものを準備した。また、被加工材には板厚 1mm、幅 20mm の 980MPa 級ハイテンを用いた。

潤滑油の供給は、被加工材が金型に送り込まれる直前に、分液漏斗を用いて 300mm 毎に 0.04g ずつ滴油し、固定ストリッパーと被加工材の隙間で、被加工材の表面に一様に塗油されるようになっている。

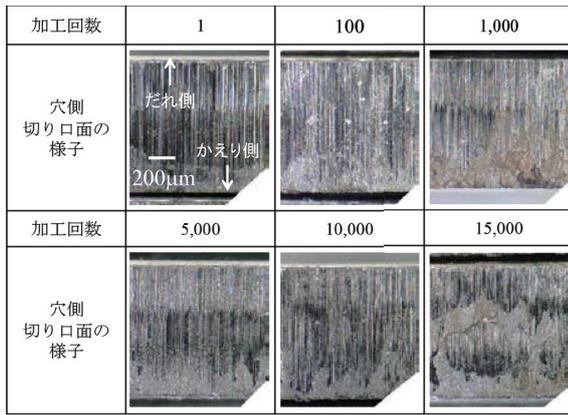
実験は加工速度 100spm で、温度に関する管理は積極的には行わず、周囲温度として行った。

3. 実験結果

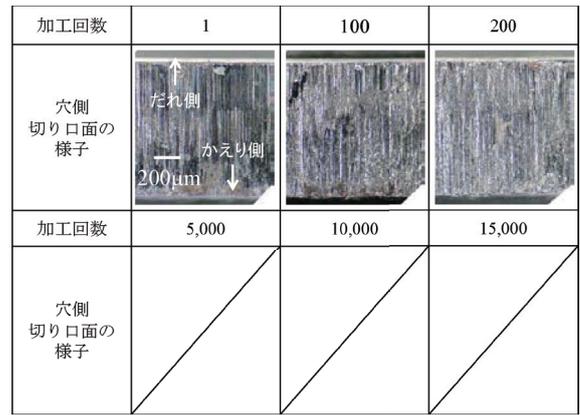
3.1 パンチ素材の影響

素材と市販油を組み合わせた場合の穴側切り口面の顕微鏡写真を図 2 に示す。写真は加工後に穴側製品を切断して撮影し

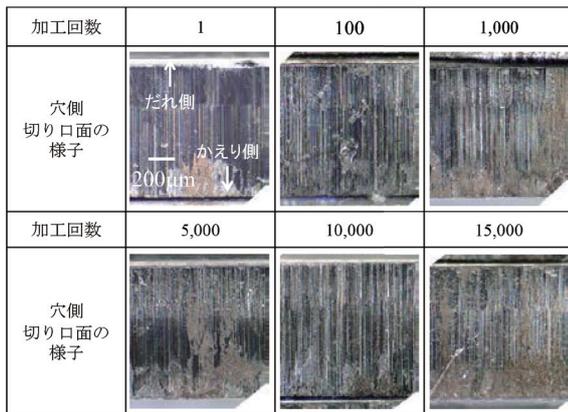
*地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 副主任研究員



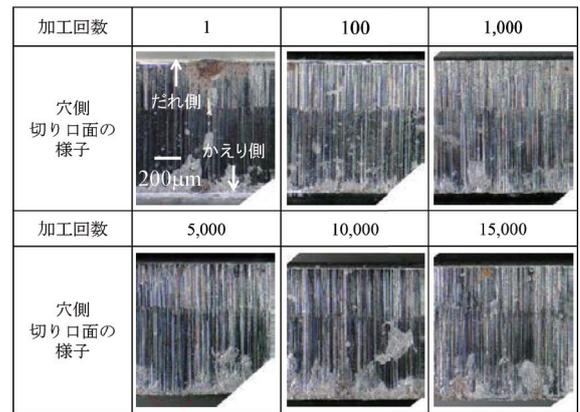
a) パンチ素材：工具鋼 (SKD11)



a) パンチ素材：工具鋼 (SKD11)



b) パンチ素材：超硬



b) パンチ素材：超硬

図2 市販油使用時にパンチ素材が切り口面性状に与える影響

図4 無添加油使用時にパンチ素材が切り口面性状に与える影響

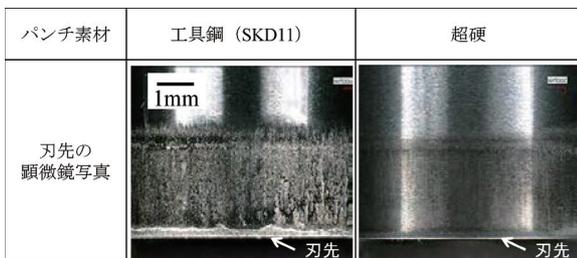


図3 市販油使用時の加工後のパンチの状態

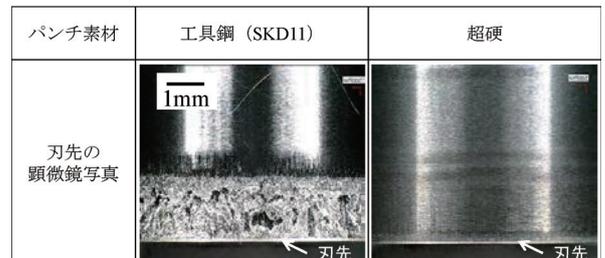


図5 無添加油使用時の加工後のパンチの状態

た。ここで、照明にはカメラと同軸上に設けたリングタイプの白色光を用いたため、表面が粗いほど明るく、表面が平滑なほど暗く見える。

まず、いずれの素材においても加工方向に筋状の痕が認められるが、超硬に比べてSKD11を用いた切り口面が粗いことが分かる。図3に試験前後のパンチの顕微鏡写真を示す。触針式の粗さ計でパンチの周方向に測定したパンチ側面の刃先近傍での粗さは、SKD11では加工前に $Ra = 0.10\mu\text{m}$ であったものが $0.34\mu\text{m}$ になり、超硬では $Ra = 0.09\mu\text{m}$ であったのが $0.12\mu\text{m}$ となり、SKD11の方が加工により粗くなることが分かった。また、いずれの素材においても刃先近傍で摩耗が認められ、加工による直径の減少量はSKD11で $32\mu\text{m}$ 、超硬で $1.4\mu\text{m}$ であり、SKD11の方が摩耗していた。

3.2 加工油に含まれる添加剤の影響

次いで、素材と無添加油を組み合わせた場合の、穴側切り口面の顕微鏡写真を図4に示す。SKD11を用いた場合には、加工回数が増大するにつれて切り口面の表面が粗くなり、200回後には刃先が著しく摩耗したため、実験を中止した。一方、超硬を用いた場合には、15,000回の加工を行えたが、加工回数が増大するとせん断面は粗くなり、破断面が観察されるようになる。ここで、図5に試験前後におけるパンチ刃先の顕微鏡写真を示す。試験前後の直径と側面粗さの変化は、SKD11で200回の加工により直径が $36\mu\text{m}$ 減少し、粗さは試験前に $Ra = 0.06\mu\text{m}$ であったものが試験後には $0.59\mu\text{m}$ となり、超硬では15,000回後であっても、直径は $2.4\mu\text{m}$ しか減少しておらず、粗さも $0.08\mu\text{m}$ から $0.17\mu\text{m}$ になった程度であった。つまり、市販油の結果と比較すると、いずれの素材においても添加剤によりパンチの耐摩耗性が向上するといえる。

3.3 コーティングの効果

パンチにTiNをコーティングしたものと無添加油の組み合わせ時の穴側切り口面の顕微鏡写真を図6に示す。まず、加工回数が増大するごとに破断面が表れるようになり、存在割合も高くなる事が分かる。一方で、せん断面の粗さは15,000回加工後であっても変化しない事が分かる。また、パンチの状態は、側面粗さが $Ra = 0.02\mu\text{m}$ から $0.08\mu\text{m}$ に変化し、パンチ刃先直径は $2.0\mu\text{m}$ 減少していた。つまり、パンチにTiNをコーティングした場合、せん断面の割合は超硬と無添加油の組合せと同程度であり、SKD11と市販油の組合せより高くなる。

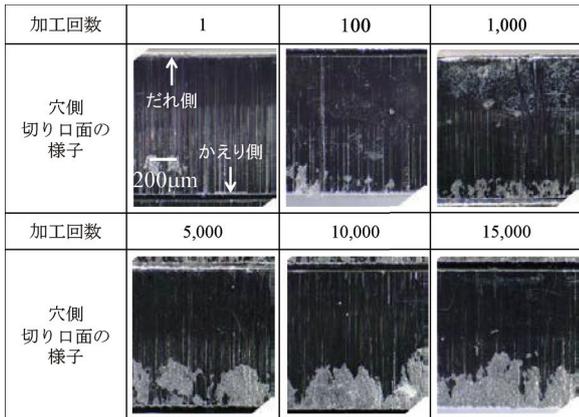


図6 TiNコーテッドパンチと無添加油の併用効果

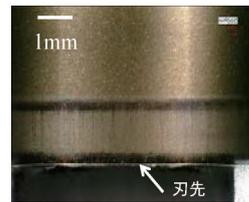


図7 無添加油使用時の加工後のパンチの状態

4. 表面分析

市販油を用いた場合と無添加油を用いた場合のパンチ表面のEDS法による元素分析で得られたスペクトルを図8に示す。分析は分析領域 $150\mu\text{m}$ 四方、加速電圧 15kV 、検出時間 100 秒の条件で行い、分析位置は刃先から $500\mu\text{m}$ 根元寄りである。なお、パンチはアセトンにより 15 分間超音波洗浄を行った後に分析に供した。まず、市販油を用いた場合には硫黄Sが検出されることから、被加工材とのしゅう動により、添加剤由来の反応膜が形成されたと推察できる。次いで、工具素材が超硬の場合には、素材には含まれない鉄Feが検出されることから、市販油、無添加油のいずれを用いた場合であっても、被加工材が工具に凝着していると考えられる。

なお、ここでは分析チャートを示さないが、TiNをコーティングしたパンチでは、加工後であってもTiが検出されたため、 $15,000$ 回加工後であっても刃先にはコーティングが残存していると考えられる。

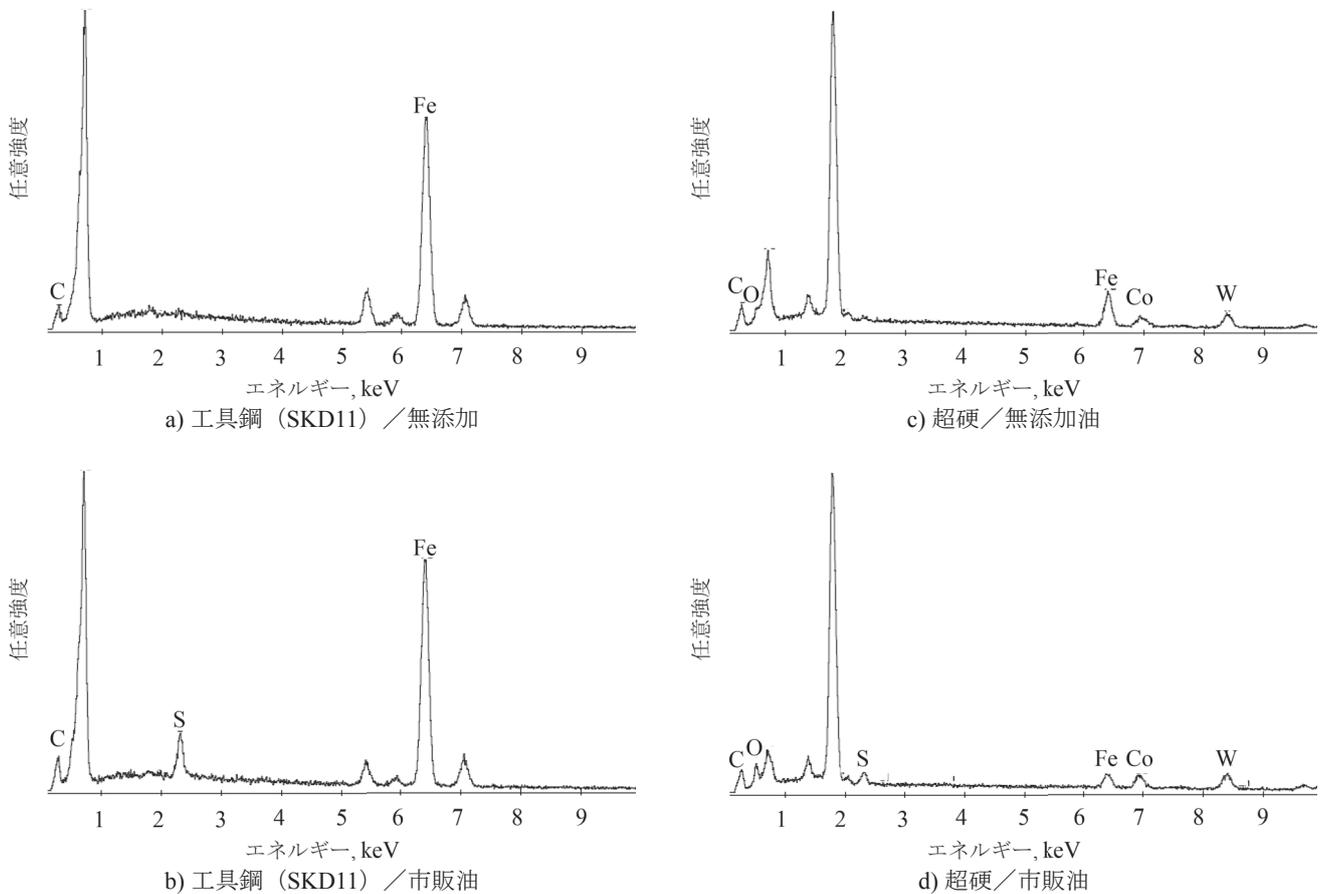


図8 加工後のパンチは先付近のEDSスペクトル

5. 考察

まず、パンチの摩耗と穴側切り口面性状の関係について考察を加える。一般に、加工により、刃先近傍の被加工材で引張応力が支配的になれば破断面が多い切り口面となり、圧縮応力が支配的になればせん断面が支配的な切り口面となる。したがって、破断面が形成された条件ではパンチの摩耗が進行していたと考えられる。

また、パンチの摩耗は、せん断により形成された切り口面とのしゅう動により進行したと考えられる。加工時に切り口面をパンチに押し付ける力は、せん断により開放された材料の圧縮応力に基づく締付力と考えられ、刃先では刃先を取り囲むように作用し、側面ではパンチの半径方向に作用する。つまり、刃先では刃先形状を丸くするように摩耗が進行し、側面ではパンチ直径を小さくさせるように摩耗が進行する。ここで、パンチの摩耗は、市販油、無添加油のいずれを用いた場合でも、SKD11 に比べて硬い超硬の耐摩耗性が優れ、パンチ側には加工方向の擦過状痕が認められることから、アブレップ摩耗が主な要因と考えられる。

次いで、潤滑油の添加剤の効果について考察を加える。パンチの材質によらず、市販油を用いることでパンチの摩耗が抑制された。試験後のパンチの刃先を EDS 法で分析すると添加剤の構成元素が検出されたことから、添加剤に由来する反応膜が刃先近傍に形成され、切り口面の性状をある程度維持したまま、連続的な加工ができたといえる。すなわち、切り口面性状が無添加油を用いた場合に比べて滑らかであるため、パンチの摩耗が抑制されたといえる。なお、刃先では繰返し応力による疲労摩耗が発生すると予測されるが、本実験では観察されなかった。これは、本実験の加工回数がいずれの材料においても疲労寿命に至らなかったためと考えられる。したがって、添加剤がパンチの疲労摩耗に与える影響を論ずることは出来ないが、添加剤を用いることで被加工材の凝着を抑制されるため、添加剤がパンチ寿命に影響するものと推察される。したがって、パンチ側の摩耗には切り口面の表面状態が反映され、切り口面の形状を決める刃先の摩耗が少なければパンチ側面の摩耗も少なく、添加剤を添加することで、加工毎にパンチ側に反応膜が形成され、刃先の摩耗が抑制されるために、切り口面性状が向上したといえる。

最後に、コーティングの効果について考察を加える。加工

後であっても TiN が刃先に残っていたことと、切り口面とパンチの状態から、TiN が摩耗したことで外径寸法が小さくなり、破断面が形成されるものの、TiN が残存しているので、せん断面の粗さに変化が現れなかったと考えられる。また、パンチ側の切り口面とのしゅう動面は TiN であることから、TiN と無添加油の組合せで得られた結果は、パンチ素材が超硬でなくても同様と考えられる。

なお、切り口面がコーティングを用いた場合に平滑であったのは、加工前の粗さが小さかったためと考えられるが、パンチの粗さとせん断面の関係については引き続き検討する必要がある。

6. まとめ

980MPa 級ハイテン材の高精度穴あけ加工時の工具摩耗と製品の切り口面性状に与える、工具素材、潤滑油に含まれる添加剤、工具へのコーティングの影響について調べた結果を以下に示す。

- 1) 工具鋼 (SKD11) に比べて硬い超硬をパンチ素材として用いた方が、耐摩耗性に優れることが分かった。また、パンチの摩耗が小さい方が製品の切り口面性状が優れることが分かった。
- 2) 工具鋼、超硬のいずれをパンチ素材とした場合であっても、潤滑油に含まれる添加剤がパンチの耐摩耗性を向上させていることが分かった。これは、パンチ表面に添加剤由来の反応膜が形成されたためと考えられる。
- 3) TiN をコーティングしたパンチと無添加油を組み合わせた場合、市販油と SKD11 の組合せに比べて切り口面性状が向上することが分かった。

謝辞

本研究は公益財団法人天田財団（天田金属加工機械技術振興財団）平成 23 年度一般研究開発助成にて実施したものである。記して深甚なる謝意を表す。

また、本研究の遂行に当たり、指導いただいた、湘南工科大学村木正芳教授、日本工業大学村川正夫名誉教授に謝意を表す。さらに、工具の作成・設計に協力いただいた富士ダイス株式会社ならびに同社の製品開発部春日井雅登氏に謝意を表す。