

精密せん断加工に適した型材の 選び方とその活用方法

(株)竹内型材研究所 永廣知史*

当社は電子部品用標準金型部品メーカーであり、主にコネクタ製造などの精密微細分野へのガイドポストなどの製品ラインナップを取り揃え、金型・モールド材料系では、約 50 鋼種 1,000 種類(0.3mm～100mm 厚)を超える MAST ハードンプレートを在庫し、ユーザーにご愛顧いただいている。本特集では、「精密せん断加工」にフォーカスを当てており、主にプレス金型で使用される型材選定の基本ポイントと実際の現場で使用する際の留意点について、できるだけわかりやすく記載していく。

型材の基本情報

精密せん断加工を含めプレス加工を行う上で、型材は超硬・工具鋼・鋳鋼・鋳鉄に大きく分けられ塑性加工条件に応じて選定している。それぞれの型材には特性が存在し、主に耐摩耗性と靱性^①が変化することで得られる効果が変わる。例えば、超硬は高価であるが、硬度が高く最大耐圧強度があるため板製品から成形される高強度な製品に適する。また、工具鋼は粘り強さである靱性が高く、複雑に力が加わる金型内部やパンチ・ダイ、異形状のパンチなどに適する。そして、鉄系鍛造材料である鋳鋼・鋳鉄は、炭素量によって各々区別され、工具寿命が超硬や工具鋼には劣るものの、安

価に金型形状を製造でき、構造物・パンチ・ダイの一体構造金型などに適している。これらの大きく分けた材料群の中でも工具鋼や超硬は、生産性・寿命・ランニングコストなどの優位性で大きな使用ウェイトを占めている。特に冷間工具鋼および高速度鋼などは、JIS 規格以外にも各特殊鋼メーカーがより実用的な鋼種を独自開発しており、わずかな成分系や組織を変えて耐摩耗性と靱性バランスを微細にコントロールした非常に多くの鋼種がメーカーごとに存在している。年々増えていくので、すべて覚えて頭にいれるのは難しいが、以下に述べる型材の損傷原因と図 1 の概念図のイ

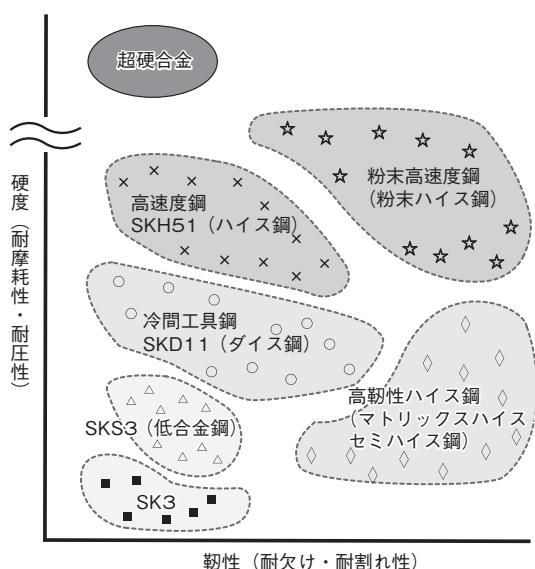


図1 鋼の特性比較による位置づけ概念図と多くのメーカー製品群

* (ながひろ さとし)：営業本部 マーケティングチームリーダー

メージを結び付けておくことがポイントである。

金型工具の3つの損傷原因

冷間プレス、各種鍛造プレスなどによっても異なるが、塑性加工における加工物の摩耗応力や圧縮応力などの増大により、せん断加工時、型材における損傷原因は大きく3つあげられる。

(1) 破損

破損原因の大半は、パンチやピンが途中から曲がったり破壊したりする座屈の発生である。形状の選択ミスやパンチの径長比 (L/D) が大きすぎること、パンチの段 R 部の設置やそのつなぎなどの仕上げが甘いこと。実感として一番は、型材の強度がそもそも足りていないことである。耐摩耗性と靱性を全体的にレベルアップする必要がある。また、細穴になるほど発生頻度が多いのがパンチのかすづまりだ。圧縮ばめ現象により引き起こされるパンチの引張り破壊などが考えられる。パンチのかすづまり回避は、型材選定と同時に考えなくてはならない重要なファクターが存在する。後に述べるファイバー方向、研削加工方法、面粗度のポイント説明などで詳しく明記する。

(2) チッピング

冷間鍛造などによるせん断加工の際、型材の刃先部分の側面が摩耗されることで炭化物が脱落、被加工材の凝着とその凝着物の剥離など不均一な摩耗で生じた切欠きに、せん断往復運動の応力が繰り返しかかる。強度に耐え切れず疲労シクラックが生じた状態で、さらにショットが繰り返されチッピングが発生する。設計面での配慮も重要だが、切れ刃の強度不足要因と考えられるため、より靱性の高い材質にて試用を検討していきたい。

(3) 摩耗

パンチが打抜き時に加工材に食い込み、刃先エッジ部に最大応力が加わる。クリアランスの狭い金型、特にファインブランキングなどは応力がより高くなる分、摩擦からの温度上昇が金型を軟化させるため、塑性変形が起これ、刃先エッジ部には丸みがついていく。エッジが丸くなってしまうことで、さらに応力は大きくなり、エッジに沿って被加工物も流動し、さらに摩耗が進んでしまう。この悪循環により、先ほど2つ目の原因に記載し

たチッピングなどにもつながってくる。まずは、高硬度で耐摩耗性が向上された材質へと昇華させていきたい。

各損傷原因に対する 基本対策方法と型材の選定方法

先ほど述べた3つの損傷原因に対して型材寿命の向上は、多数の因子で決定されるものである。例えば、被加工材の特性把握、機械性能、金型・型材の設計などによる因子である。先の3つの損傷原因の共通核に対する早期で確実な検証と対策は、損傷状況に合わせた型材の材質見直しである。損傷原因と耐摩耗性、靱性の概念図を念頭に図1の☆○△の鋼種を試用して効果を検証し変更していく。この際のいくつかの注意点とポイントは以下となる。

- ①耐摩耗性および靱性の見直し時、試用材は、あまり小刻みな変更ではなく、思い切って2～3ランク程度（靱性アップなど）変えてみるなど明確な違いを出すと初期に原因をあぶり出しやすくなり、「たしかにチッピングは減少したが、摩耗性が落ちたので少し戻そうか」といった早期の効果確認をし、方向性を決めることを推奨する。
- ②事前に変更鋼種の流通性や市中在庫量などを確認しておく、あまりに特殊材質で持続性に欠けるという後々の問題やコストアップ要因にも対処できる。
- ③無論、耐摩耗性と靱性が高次元に両立した万能な材質もある。しかし、鋼の特性を決める5元素、タングステン (W: 耐熱・耐摩耗)、バナジウム (V: 耐摩耗)、モリブデン (Mo: 焼入れ性)、ニッケル・コバルト (Ni・Co: 耐摩耗、耐熱) が複合添加されて機能性向上しているのが高コストとなる。適材適所での選択の考慮が必要である。

加えて、上記の鋼の5元素のベースとなる鋼の特性を決める要因としては、鋼材中に含まれる炭素 (C) とクロム (Cr) の含有量で理解することが重要であるが、大きく分けると5鋼種系統へと分類される (含有量例%)。

- i) 炭素 ↓ (0.05)・クロム ↑ (18)
【ステンレス鋼 (SUS)】
- ii) 炭素 ↓ (0.9)・クロム ↓ (1)
【合金工具鋼 (SKS)】
- iii) 炭素 ↑ (1.5)・クロム ↑ (12)
【冷間工具鋼 (SKD)】
- iv) 炭素 ↑ (1.0)・クロム ↓ (4)
【高速度鋼 (SKH)】
- v) 炭素 ↓ (0.4)・クロム ↓ (6)・
ニッケルやアルミ ↑ 【プラ型鋼】

以上、工具鋼系については、金型の3つの損傷原因に対して耐摩耗性と靱性の概念図のイメージを結びつけること。それらは炭素 (C) とクロム (Cr) 量がベースとなり、様々な特性を発揮する鋼の5元素などの複合添加で決定づけられるという基本を押さえておくと、頭の中が体系立って整理しやすい。当社では、豊富なバリエーションでの即納体制を整えており、取引先によっては、順次試用して最適型材を見極め、過去には低コストで寿命が3倍程度に伸びた例もある。

超硬合金（以下、超硬）についても少し触れておく。被加工材が銅合金やステンレスなどの場合、型材には、より高硬度で耐摩耗性に特化した材質を検討したい。超硬の基本成分は、ベースがタングステンカーバイド (WC) の粒子・粒形にバインダ（結合剤）にコバルト (Co) を使用して、焼結結合させる。コンクリートに例えると、【硬い小砂利=WC】を【セメント=Co】で固めているイメージとなる。小砂利が多いと硬いが脆く、セメントが多いとこの逆となる。Co含有量に着目して耐摩耗性と靱性のバランスを検討することがベースとなる。これに材料設計的にWC粒径の大きさ（微粒子で組織が密になると耐摩耗性の硬さは増すが、耐衝撃性の靱性は低くなる）および添加物の選択で詳細な機能や位置づけが変わっ

要 因		耐摩耗性	耐衝撃性
Wc 粒度	大きくすれば	↘	↗
Co 含有量	多くすれば	↘	↗
添加物	硬質粒子	TiC、TaC 他	↗
	結合金属	Ni、Cr 他	↘
		(Ni) ↘	↘

図2 超硬の特性関連図

てくる (図2)。

現在、超硬は TAS7000^{注1)} (日本機械工具工業会規格) で分類されているが、工具鋼同様に各メーカーオリジナルなものも多く存在する。当社ではダイジェット工業社製の超硬素材をベースにした MAST 超硬プレートを板厚 0.5mm より 100 種類以上在庫揃えている。超硬の場合は基本成分である結合剤の Co がワイヤ放電加工時に溶出し、腐食や焼付き、かじりの要因になることが懸念される。こうした後工程での問題を軽減することは、高価な超硬の型寿命の延長や段取り交換時間短縮などに非常に有効である。対策材として、微量な Cr 添加をすることで、結合相となる Co を強化した NC6 合金や、これをベースに粒径を超微粒子系に設計した FZ15・FB10 合金が選ばれている。最近では用途も多機能化し、バインダを Co から Ni に置き換えた非磁性超硬もニーズが高い傾向だ。工具鋼同様に超硬の場合も Co 量 (残 WC 量)、WC 粒径、添加物の有無を念頭に置き、耐摩耗性と靱性の兼ね合いをイメージしておくとい (図3)。

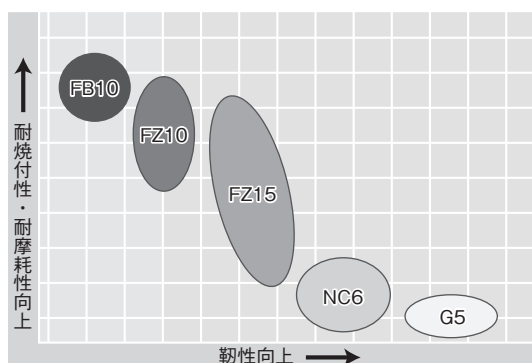


図3 当社超硬在庫品の概念図

その他の重要事項(熱処理・ファイバー方向・平面度/平行度・面粗度)

一般的に材料費は金型製作費の15%程度と見積られているが、高品質で信頼性のある型材選定は金型の完成度や性能を支配するといっても過言ではない。型材は、料理でいうところの食材にあ

注1) TAS7000 (CIS019D)：耐摩耗・耐衝撃工具用超硬合金および超微粒超硬合金の材種選択基準

たり、せっかくの食材も熱の通し方や包丁の入れ方、味付けなどで台無しになることもある。その食材の良さを最大限に活かす調理法が大切である。当社でも以下述べる内容（一例）を重要視して提供しているため、型材を取り扱うユーザーとも共有しておきたい。

(1) 熱処理

金型材料に使用される多種多様な工具鋼は、それぞれに適した焼入れ・焼戻し温度・その回数などと合わせた熱処理ノウハウが存在する。

つまり食材への熱の入れ方だ。当社では、内製での熱処理を主流とし、同じ鋼種同士による質量に合わせた適正な熱処理条件で品質の安定に注力している。万全なトレーサビリティに備えるには、常に一定の条件にて行うことが理想である。しかしながら、現状は多くの会社が外部の熱処理協力会社に依頼することが多い。この際の留意するポイントを以下に記す。

①その鋼に推奨された設計硬度を無理に変えることはあまり望ましくない。

例えば、SKH51 を耐摩耗性向上のために 65HRC 超などに焼入れすると、焼戻し温度なども変更を余儀なくされ、靱性などバランスも損なわれるので、その場合は粉末ハイスを選択するなど、その鋼の能力を最も引き出す条件での使用を薦める。

②金型市場の減少と共に、熱処理専門業者内でも同鋼種でロットをまとめることは困難な昨今、類似異鋼種を一括焼入れして、個々の焼戻し温度で硬度調整するケースが多い。こうなると、リピータ金型製作時でさえも毎回、材料の伸縮傾向やそりの程度が変わり加工しづらくなる。難加工金型では、再現性に常に不安がつきま

う。依頼先と十分に相談し、データを取って最適取り代を決めるなど注意が必要になるとともに、依頼先の熱処理にも得意・不得意分野がある程度分かれるので、複数の熱処理依頼先など選択肢を持つと良い。

③熱処理を正確にムラなく行い、鋼の能力を最大限引き出すためには、温度もさることながら、（段階的）昇熱時間と均熱保持時間などをじっくりと取ることが重要である。質量にもよるが、SKD11 高温 2 回戻しは正味の処理時間だけでも 20 時間程度要する。現実には金型納期が逼迫することやコストとの絡みで時間短縮をせざるを得ないこともあると思うが、せっかく吟味した型材の性能を落とすことのないような工程设计が必要である。

熱処理製品特有の経年変化による変寸を防止する超サブゼロ処理、サブゼロ処理、安定化処理なども重要である。当社の HP やカタログにもわかりやすく記述してあるので参考にさせていただきたい。これらは経年変化のみならず耐摩耗性が数倍になるという識者の研究事例もある。

(2) ファイバー方向

薄紙の新聞紙でさえ、縦横方向が異なると、きれいに裂くことが難しいように、超硬を除く工具鋼類の型材は、その多くが製造時に熱間・冷間圧延工程を経ており、少なからずファイバー（繊維）方向が存在する。炭化物が圧延加工の進行に合わせて網状から縞状分布へと変化する（図 4）。

特に一次炭化物は、ファイバー方向に連鎖上に分布するため、炭化物に沿って割れなどが進みやすくなる。ファイバー方向と平行して材料取りする場合は、垂直方向と比べて機械的性質が 2 倍も向上する場合があることに加えて加工性にも好影響となる。

「材料取りは寿命と加工性を大幅に変える」と

ミクロ偏析のメカニズム：ファイバー組織の発生
凝固組織概念図熱間加工の進行 ファイバー組織概念図

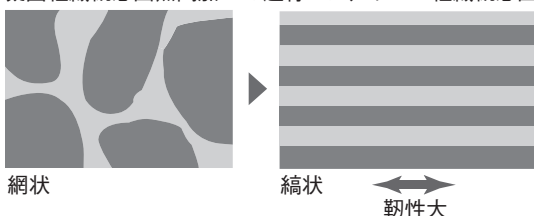


図 4 ファイバー方向メカニズム



写真 1 MASTスタンダードハードンプレート

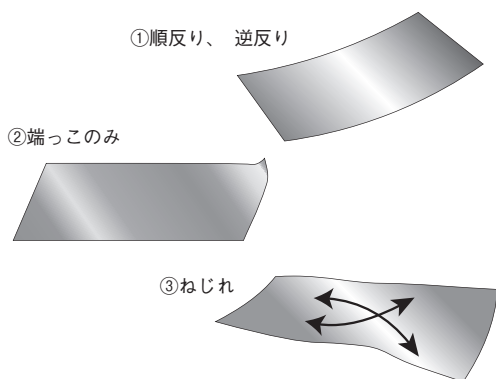


図5 型材プレートの様々な反り傾向

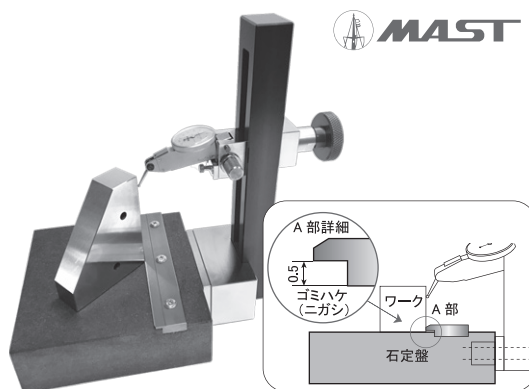


写真2 MAST 直角度クイック測定器

認識し、設計時や加工前に、この点に十分留意して、材料リクエストをすることをお勧めする。当社製品の在庫としているMASTハードンプレートは、使用ユーザーがワイヤーカットなどでの材料取りの際にファイバー方向が分かるようにレーザーマーキングを施している。(写真1)

(3) 平行度 (図面表記 //)・平面度 (∇)・直角度 (⊥)

上の3つの幾何公差は、型材製作の基本中の基本であり、先程のファイバー方向に絡めると料理でいう繊細な包丁の入れ方のようなもので、型材としての精度、価値を決める重要点である。加工精度は、板厚のバラつきをなくし、反り・ねじれを最小限に、基準となる直角を極めていくことから始まる。また型材としての使用時に直角狂いやねじれがあったのでは、型かじりなど3つの損

傷であげた金型破損、短寿命を促す要因ともなる。特に平面度については、様々なケースがあり(図5)、ユーザーの使用方法や相互の測定方法の擦り合わせには、当社も万全の注意を払っている。電子部品などの最先端用途では軽薄短小化に拍車がかかっており、板厚0.1mm～からの極薄難削材のリクエストもある中、前述した熱処理やファイバー方向などのプロセスを確実に踏まえていないと、ある段階までは保たれていた平面度が応力緩和により、急激に反り返ってくるようなことが生じる。それぞれの要素が相互に影響して絡み合っていることを最後の最後に知ることになる。これらの詳細や直角度・平面度測定用の当社開発品の治具シリーズもHPやカタログで紹介している。一例ではMAST直角度クイック測定器(写真2)などは生産現場で頻繁に使用されてお

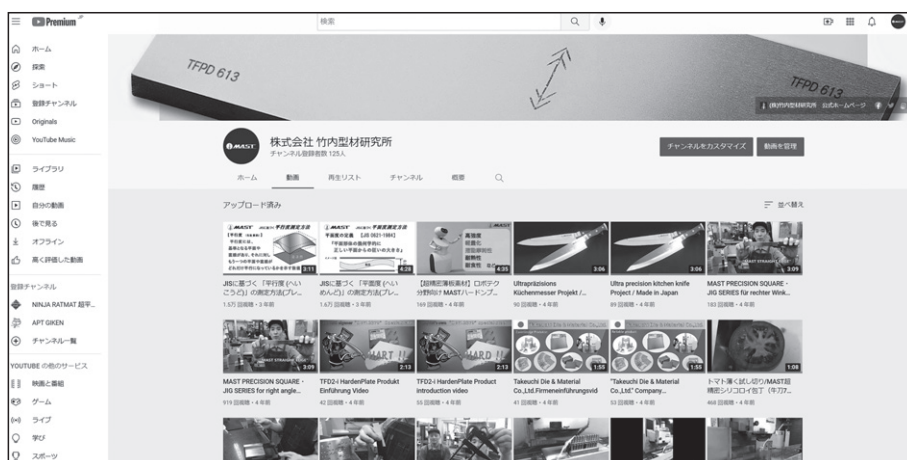


写真3 YouTube掲載の当社技術動画

り、技術者の熟練度関係なく直角度がすばやく数値測定できるので推奨したい。また、技術・技能に関する動画を当社 HP や YouTube など配信しており（写真3）、社内の技能伝承はもちろんのこと、社外ユーザーとも事前に測定方法などを共有するなど、技術の共通認識を基に良質な商品を提供したいと考えている。内容的には、現場目線の説明を心がけており、チャンネル内でもJISに伴う平面度・平行度についてのコンテンツは、最も閲覧者が多く人気であるため、ぜひご覧いただきたい。

(4) 面粗度

3つの損傷原因の一つである、破損の発生について影響してくる点として、パンチ時のかすづまりをあげたが、ワイヤーカット面のままで使用していることも問題となる。パンチの方向は軸方向と平行に研削することを推奨しており、切れ味の良いCBN砥石などの使用やラップの必要性、プレス油潤滑性を高めるために、故意に表面を粗くするなど使用状況に合わせた加工処理を施したい。最新の表面粗さ JIS 規格として JIS B 0601:2001 が適用されており、新旧規格の面粗度の標記が異なるため、当社では Ra 算術平均粗さを標準仕様に統一させている。古いリピート製作図面などで、Rz や Rs および▽▽▽などの旧三角記号が混合

しているケースもある。換算値は当社 HP など参照したい。

☆

☆

以上述べてきたように、より良い型材（食材）を選定し、吟味された加工法（調理法）で仕上げていくことで、たとえ10%でも様々な要因の改善が掛け合わせり積み重なることで最終的に機能が2乗倍、3乗倍になることもあり得る。製品仕上りへの反映のみならず、例えば、金型の段取り替え時間短縮や使用中に発生した破損・チッピング・摩耗での緊急対応などの時間も考慮するとトータルでの価値はより高まる。カーボンニュートラルやSDGsへの対応が必要とされている中で、限りある資源を最小限に使用し、再生利用していくことも望まれる。情報を選別し、より良い加工法、方法論を取り入れて知恵を絞っていくことが、独自性と持続的な繁栄につながっていくのではないかと考える。当社では、創業時より「必要な人に、必要なものを、必要な分だけ」という思想を継続し、今後も「新たな価値の創造」に尽力していきたい。

参考文献

- 1) 当社カタログ MAST VOL.9（日立金属(株)・ダイジェット工業(株)より使用校正許可取得済み）

『型技術』4月号 ★好評発売中!!

定価1540円(本体1400円+税10%)

特集 失敗から学ぶ! プレスのトラブル対策事例集

- 総論
- プレス加工におけるトラブルの観察と対策のポイント
-アブ技研 大島清次郎
- トラブル対策事例
- プレス成形における形状部成形時のばらつき
 - レーザー展開では割れず、プレス展開で割れ発生
 - 面打ち工程でのバリ不具合
 - プレス加工時の曲げしごきバリ不具合
 - パイプ曲げ時の凹みとバリ
 - リンク部品のバーリング成形における品質不具合
 - つぶし工法での成形パンチ破損
 - パッド溶接部起因のクラック事象
 - エアシリンダーロッドの破断
 - 下型インサートボルト破損
 - ハイテン加工用金型のドロー工程での摺動面の異常摩耗
 - 高硬度材料のせん断加工でのパンチ折れ
 - トリム工程でのカット刃の座屈
 - トリム工程でのスクラップ詰まり

- 順送型の小径穴のスクラップ上がり
- コンパウンド型の2枚打ちによる金型破損
- プランキングプレスにおけるコイル送り不良

◆TECHNICAL REPORT

- 積層造形装置で作製した砂型の鋳造時ガスの抑制方法
-三重県工業研究所 近藤義大
- タングステンを用いたアルミダイカスト金型補修
-富山県産業技術研究開発センター 関口啓介

◆新連載

- 中小製造業の新規事業展開のツボ
～思い切った事業再構築へのヒント～
- 第1回 チャンス到来、中小製造業は今こそ新規事業展開を!
-潮崎隆彦

◆Interview

- 石川樹脂工業(株) 代表取締役会長兼社長 石川 章氏
- アイダエンジニアリング(株) 営業サービス本部 技術部 顧問 井村隆昭氏

金型の内製化を機に自社商品を開発

日刊工業新聞社 出版局販売・管理部 ☎03(5644)7410