

焼入れ鋼の高精度切削加工——金型部品の仕上加工に適用

High-Precision Milling Techniques for Hardened Steel——Application to Die Parts Finishing

天野 啓
AMANO Akira

井上 篤郎
INOUE Atsuo

高橋 敏昭
TAKAHASHI Toshiaki

高硬度に焼入れ処理された金型材料を高精度に切削加工することで、金型製作コストの低減、リードタイムの短縮を図ることができる。

工具回転の高速化、工具切刃コーティング材料の選定およびコーティング膜の密着性向上、工具軌跡の適正化、工具切刃摩耗の寸法誤差補正などによって、高硬度金型材料を高精度に切削加工する技術を開発した。金型部品の仕上加工に適用し、従来の放電加工を切削加工に置き換えて、金型部品の加工工数を30%低減させた。

By applying a cutting process to highly hardened die material, cost reduction and short lead-time are made possible in the manufacturing of dies. We have developed cutting techniques for precise machining of hardened steel, and applied these techniques to the manufacturing of die parts. In this application, we have realized a high-precision cutting process by means of high cutting velocity, optimized tool coating and tool path, and compensation of workpiece measuring errors due to tool wear.

We have replaced the conventional electric discharge manufacturing process with this cutting process, and have been able to reduce the cost of manufacturing die parts by 30%.

1 まえがき

情報機器筐(きょう)体や半導体パッケージなど、プラスチック成形部品の薄型化、高強度化が進んでいる。それらの部品の量産するために、成形金型には高精度化、高強度化が求められている。

金型材料には、合金工具鋼などが用いられ、ロックウェル硬度(HRC)35~60程度に焼入れ処理されて使用される。硬度がHRC40以下の場合には、焼入れ処理後の切削仕上加工は可能である。これに対し高硬度焼入れ処理された金型材料は、通常の切削方法では工具切刃の摩耗が大きく、高精度な切削加工が難しい。このため、仕上加工には放電加工が適用されている(図1)。しかし、放電加工の加工速度は切削加工に比べ著しく遅く、また、加工する形状の電極を数多く製作する必要がある。高硬度に焼入れ処理された金型材料の仕上工程を切削加工にできれば、金型製作コストを低減でき、リードタイムも短縮できる。

今回、高硬度材を高精度に切削加工する技術を開発した。ここでは、工具回転の高速化、工具切刃コーティング材料の選定およびコーティング膜の密着性向上、工具軌跡の適正化、工具切刃摩耗の寸法誤差補正などの技術概要と、金型部品の仕上加工への適用例について述べる。

2 切削加工の高精度化

2.1 高速切削加工

高速回転主轴を搭載したマシニングセンタが開発され、

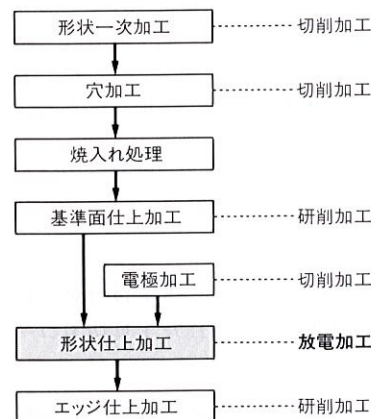


図1. 現状の金型部品の加工工程 焼入れ処理後の形状仕上加工は放電加工で行われる。

Manufacturing process for die parts

切削工具の回転数を上げて加工する高速切削加工技術が普及している。

高速切削加工には、二つの考えかたがある。一つは、工具を高速で回転させるとともに工具移動速度も高速化し、単位時間当たりの除去量を増加させて切削加工の能率向上を図る技術である。もう一つは、工具を高速に回転させて、切削速度を高めることによって切削抵抗を軽減し、工具切刃の摩耗を小さく押さえる技術である。

工具回転の高速化による切削抵抗の減少は、焼入れ鋼の切削においても報告されており、切削加工の精度向上には必要な技術要素である。今回の切削加工技術開発では、工

具最高回転数を 20,000 min⁻¹とした。

2.2 工具切削コーティング材料

一般的に、回転式の一体型切削工具（エンドミル）母材には炭素工具鋼や超合金などが用いられ、切削部分には、耐摩耗性をもたせるために炭化チタン（TiC）や窒化チタン（TiN）、窒化チタンアルミ（(Ti, Al)N）などのコーティング膜が施されている。図2は、物理蒸着（PVD: Physical Vapor Deposition）法による各コーティング膜の硬さと耐酸化性を比較したものである。硬さではTiC系が優位性を示し、耐酸化性では(Ti, Al)N系が優れている。(Ti, Al)N系は酸化開始温度が高いため、他の材料に比べ耐熱性に優れている。

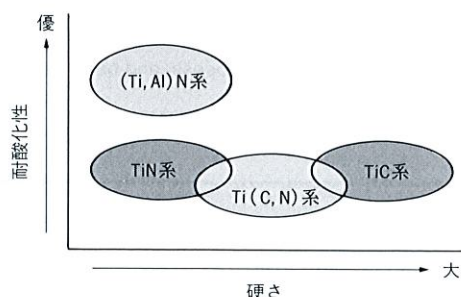


図2. コーティング材料の特性 TiC系は硬さに優れ、(Ti, Al)N系は耐酸化性に優れている。

Technical features of coating materials

高硬度に焼入れ処理された金型材料を高精度に切削加工するために、耐摩耗性に優れた工具切削コーティング材料を選定する。

種々のコーティング材料を蒸着した同一形状のエンドミルを用いて、切削加工したときの工具切削逃げ面摩耗幅を比較した(図3)。比較した5種類の工具の母材材質には、

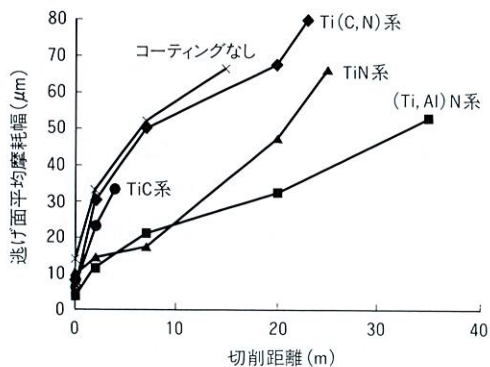


図3. コーティング材料と工具摩耗の関係 (Ti, Al)N系は耐摩耗性に優れる。

Relationship between coating material and tool wear

微粒子超合金を選定した。加工物には、焼入れ鋼（SKD-11, HRC60）を用い、いずれも切削速度 50 m/min で側面切削加工した。(Ti, Al)N系が、他の材料に比べて切削部分の摩耗進行が小さいことがわかる。この結果、焼入れ鋼の切削加工に用いる工具切削のコーティング材料には、(Ti, Al)N系を選定した。

さらに、コーティング膜の耐剥離性を向上させるため、工具製作時のPVD法を改善し、コーティング膜の密着性を高めた(図4)。

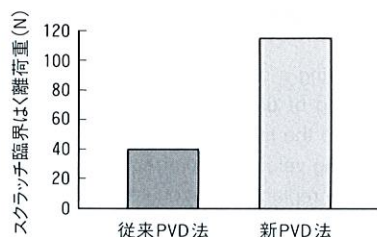


図4. コーティング膜の耐はく離性向上 新PVD法はコーティング膜の密着性を向上させた。

Improvement of PVD coating

2.3 工具軌跡

一般に、エンドミルを用いた切削加工には、側面切削と溝切削の二つの方式がある(図5)。

側面切削では、切削時の切削の接触長さが短いため、工具移動距離当たりの切削摩耗量は小さい。しかし、単位時間当たりの除去量も小さい。この方式だけで平面上の輪郭削出し加工を行う場合、輪郭仕上軌跡が最終軌跡となる。そのため、1本の工具を用いて輪郭仕上げまで行う場合には、良好な切削状態を最終軌跡まで維持する必要がある。

一方、溝切削では工具切削の接触長さが長く、工具移動

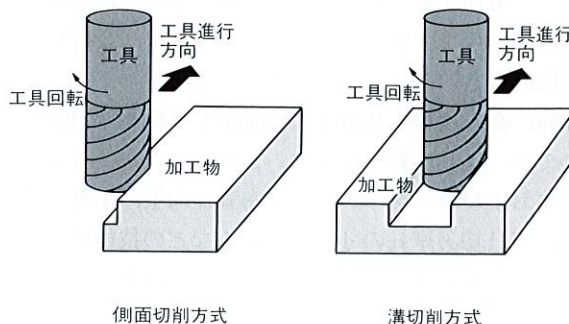


図5. 側面切削と溝切削 エンドミルを用いた二つの加工方式を示す。側面切削では切削摩耗量は小さいが、単位時間当たりの除去量も小さい。溝切削では単位時間当たりの除去量が大きく、加工能率は高い。

Peripheral milling and slot milling

距離当たりの切刃摩耗量が大きい。このため、輪郭仕上げには通常用いられない方式である。しかし、単位時間当たりの除去量が大きく、加工能率が高い。

図6は、それぞれの方式で焼入れ鋼(SKD-11, HRC60)を切削加工した場合の工具半径減少量の変化を示したものである。

いずれも(Ti, Al)N系材料のコーティングを施した直径2mmのスクエアエンドミルを用いて、回転数 $16,000\text{ min}^{-1}$ (切削速度 100 m/min)の高速切削条件で加工した。除去体積で比較した場合、溝切削方式は、側面切削方式に比べて、工具半径減少量の変化が小さい。そこで、溝切削方式で輪郭仕上げが可能な部位については溝切削方式を、溝切削方式で輪郭仕上げが不可能な部位については側面切削方式をそれぞれ適用した。

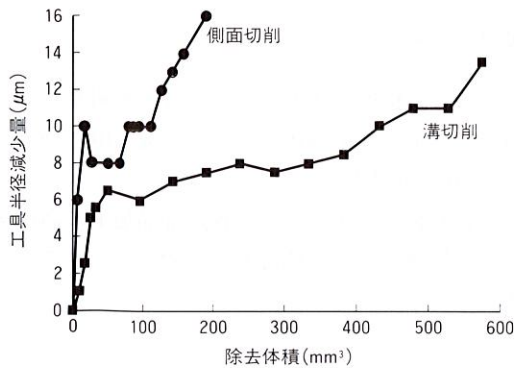


図6. 工具軌跡と工具半径減少量 側面切削と溝切削の工具半径減少量を示す。除去体積で比較した場合、溝切削では側面切削に比べて工具半径減少量の変化が小さい。

Tool path and tool wear

2.4 工具摩耗量補正

工具回転の高速化や耐摩耗性に優れた工具コーティング材料の選定で、工具の切刃寿命を延ばすことは可能となった。しかしながら、切刃の摩耗による加工寸法誤差の発生を避けることはできない。このため、切刃摩耗による工具半径減少量を補正して加工精度の向上を図った。各切削加工条件での工具半径減少量をデータベース化し、加工時に使用するNC(Numerical Control)プログラムデータに反映させた。

3 金型部品加工への適用

高精度切削加工技術を半導体パッケージ成形用金型の部品加工に適用した。図7は、金型の概略である。金型の主要部品であるキャビティブロックに適用した例について述べる。金型材料は合金工具鋼(SKD-11)であり、硬度

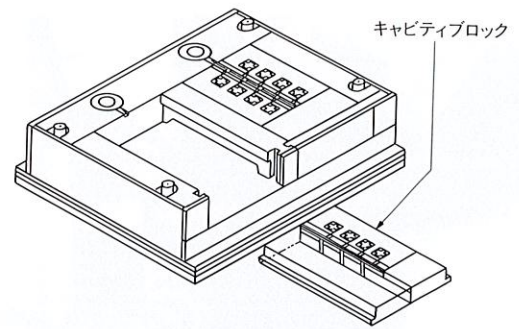


図7. 半導体パッケージ成形用金型 半導体のパッケージ部分を成形する金型の概略図で、金型の主要部品であるキャビティブロックに適用した。

Semiconductor package molding die

HRC 60 に焼入れ処理している。この部品の要求精度は寸法精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ 、表面粗さ $1.6\text{ }\mu\text{mRa}$ である。

3.1 加工方法

金型部品を切削加工する場合、加工形状に合わせた工具を使用する必要がある。比較的大きな面積の部分にはスクエアエンドミルを、傾斜角度をもったコーナ部には傾斜形状に合わせて製作したテーパボールエンドミルを用いた。いずれも、工具母材には微粒子超硬合金を、コーティング材料には(Ti, Al)N系を選定した。図8は、加工形状に合わせて製作したテーパボールエンドミルである。

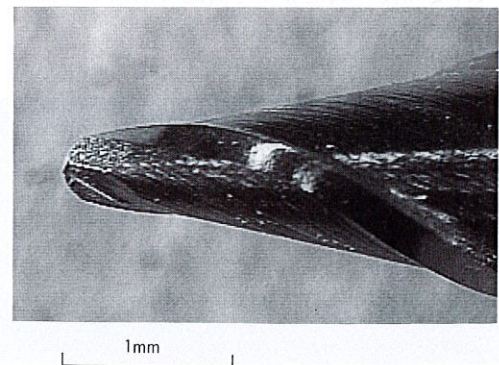


図8. テーパーボールエンドミル 加工形状に合わせて製作した工具を使用した。

Taper ball and mill

加工装置には、最高回転数 $20,000\text{ min}^{-1}$ の主軸を搭載した高速マシニングセンタを用いた。図9に、キャビティブロックを切削加工するようすを示す。加工点に供給する切削加工液には、環境を配慮して植物性の油剤を選定し、微量噴霧した。

加工部分の形状と要求精度に合わせて、側面切削方式または溝加工方式を適用した。

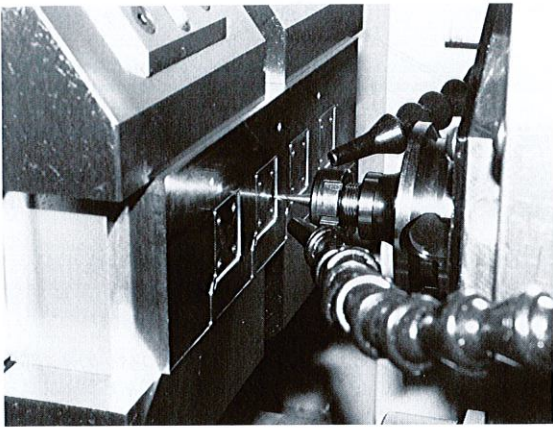


図9. キャビティブロックの切削加工 加工装置には、最高回転数 $20,000 \text{ min}^{-1}$ の主軸を搭載した高速マシニングセンタを用いた。
High-speed milling of cavity block

3.2 結果

図10は、切削加工したキャビティブロックである。加工寸法精度を測定した結果、幅寸法誤差 $\pm 8 \mu\text{m}$ 、深さ寸法誤差 $\pm 5 \mu\text{m}$ であった。また、切削加工面の表面粗さは、 $0.1 \mu\text{mRa}$ 以下であり、いずれも要求精度を満たした。

このキャビティブロックを金型に組み込み、半導体パッケージを成形した結果、放電加工で製作された金型と同等品質に成形できた。

図11に、高速切削加工を適用した金型部品製作工程を示す。焼入れ処理後の放電加工を高速切削加工に置き換えた

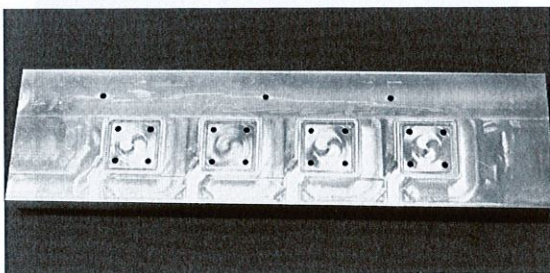


図10. 高速切削加工されたキャビティブロック 寸法精度、表面粗さともに要求仕様を満たした。
Cavity block machined with high-speed milling

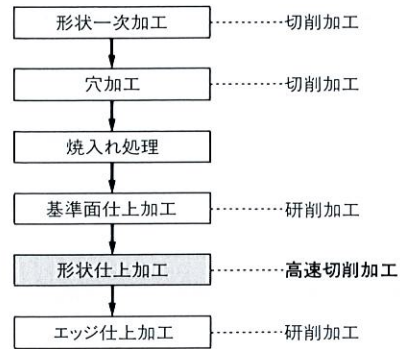


図11. 高速切削加工を適用した金型部品加工工程 焼入れ処理後の形状仕上加工は高速切削加工で行われる。

Application of high-speed milling to manufacturing process for die parts

ことで、キャビティブロックの加工工数は30%低減された。

4 あとがき

焼入れ鋼を高精度に切削加工する技術を開発した。金型部品加工に適用し、半導体パッケージ成形用金型部品の加工工数を30%低減させた。

今後、金型製作を中心に、各種の部品加工に高速切削を適用し、部品製作工数の低減および開発リードタイムの短縮を図っていく。



天野 啓 AMANO Akira

生産技術研究所 精密技術研究センター研究主務。
精密加工技術の研究・開発に従事。日本機械学会、精密工学会会員。
Manufacturing Engineering Research Center



井上 篤郎 INOUE Atsuo

生産技術研究所 精密技術研究センター。
精密加工技術の研究・開発に従事。精密工学会会員。
Manufacturing Engineering Research Center



高橋 敏昭 TAKAHASHI Toshiaki

東芝タンガロイ(株) 工具開発部主任。
切削工具の開発・設計に従事。
Toshiba Tungaloy Co.,Ltd