

1. 発表題目 『 低速高送り加工』 技術

株式会社 金型 コンサル
左甲斐 武久

2. 高速高送り加工とは

最近のNC切削加工では 『 高速回転高送り加工 』 が花盛りである。

この切削加工の特徴は

- (1) 切削工具を **周速 200m以上** で 回転させる。
- (2) 高速回転により、加速度的に増大する刃先への切削衝撃力を軽減するため、**切込深さを浅く** する。
この理由は 刃先への切削衝撃力を軽減させ 刃先損耗を押さえる事と同時に、切粉の薄肉化により 切削熱の増大を押さえ 刃先への熱破壊現象を少なくするためである。
- (3) 切込深さを浅くすることで 単位時間当りの切粉排出量が減少するため この減少分に見合うように **切削送り速度を早くする**。
- (4) 切削能率を上げるには より回転数を上げ、切込深さを浅くし、切削送り速度を上げてゆく ことにより 単位時間当りの切粉排出量を 増やし 加工能率を上げて行こうとする 切削加工技術である。

『 高速高送り加工 』 の切削加工技術の前提条件

- ① 使用する切削工具は **超硬ボールエンドミル**を主体とする。
- ② 刃先の限界強度は **最大 0.2 mm** 程度である。この限界強度を超えない範囲内で **高速回転高送り加工**は 行なわれる。

- (1) 工具の刃先強度は 工具製造技術上、1刃切削量で表現すれば **超硬ソリッドφ10 ボールエンドミル**で 炭素鋼S55Cの荒取加工の場合 **最大 0.2 mm/刃** 程度である。 中,仕上加工で高硬度材の加工でも 1刃切削量は **最大 0.2 mm/刃** 前後である。この条件を越えると 刃先破損の確率が急激に高くなる。また、工具突出長が長くなるほど 刃先破損発生率が高くなるので 通常の加工条件設定では 1刃切削量を下げるのが常識である。

φ16 mm以下の超硬ソリッド工具では 1 刃切削能力限界 0.2 mmを越えることは非常に 困難であり 工具製造技術上の壁が大きく立ちはだかっているのが現状である。

従い、更なる切削能率向上の本命は 『高速回転,浅切込,高送り』加工であると位置付けられ 研究され より高速回転へと向かっている。

- (2) φ20 mm以上のスローアウェイ形チップ構造の 超硬工具になると、**高送りラジラス工具** の出現により 1 刃切削量が1.0 mm以上が可能となってきたため、 従来は考えられなかったような大容積の切粉排出量を 低速回転で実現できるようになり、高速回転のNCマシンではなく、従来形の低速回転NCマシンが 荒取加工の時間短縮に 大きく役立っている。
- (3) しかし、φ16 mm 以下の小径になると 工具構造上 チップ強度が大きく設計できず、 1 刃切削量 0.2 mm 以上の実現は 技術的に 難しくなっている。従い、超硬ソリッドタイプの方が刃先剛性、刃形精度等の点で有利となっているが最大 0.2 mm/刃が 限界と考えられてきた。

3. 高速高送り加工の問題点

高速高送り加工を行なう場合 次のような問題点がある。

- (1) 『通常NCマシン』を使えない。

高速回転高送り加工では 1 万回転以上～4 万回転/分のNCマシンを使い 大荒取加工から細部の仕上加工まで、浅切込で、平均、F5000 以上の切削送り速度で加工する。

通常、多く使用されている『通常NCマシン』は 最大回転数が3000rpm から8000rpm であり 4000rpm 位のNCマシンが最も多い。従い 『通常NCマシン』は 主軸回転数不足で 利用できない問題点がある。

現状の厳しい経営環境の中での 新規NCマシンの購入は直ぐに 行なえず コストダウンは行なわねばならないが高速加工の実現もできず、『高嶺の花の加工技術』 となっているユーザが多い。

(2) 工具寿命が短い。

高速回転高送り加工では 工具の周速度が高いため 加工材料との間で発生する切削熱が高温となり、高熱損傷で刃先が短時間で欠損する。高速回転するほど 切削発熱量は 加速度的に 上昇するため 工具寿命は ますます 短くなってゆく。比較的大きな加工物では この点が 大きな問題点となっており、工具使用量が増え コストアップとなって 高能率加工効果が 期待ほど大きく得られない問題点を抱えている。

(3) 長い工具突出長での深物加工には不向きである。

長い突出長になるほど 高速回転のため 加工時のビブりの発生が急激に増大し 工具破損や加工への喰込みと加工形状精度低下の現象が増大する。

ビブりを押さえるために、Z 切込量を浅くしても あまり効果は出ない。ビブりは ほとんど止まらない。

特に、荒取加工や中仕上加工取残加工 等で 大きな 問題点となる。

高速高送り加工では 大物金型や長い工具突出しの深物部品加工 等は 適用事例が急減する。

工具突出長が短かく、切削距離も短い小物加工での適用事例が主体である。

(4) マシンの主軸軸受け寿命が短い。

マシンの主軸回転数が毎分数万回転となるため マシンメーカーでは主軸軸受けの磨耗対策、寿命対策がポイントとなっている。連続運転では 主軸寿命が 高速化すればするほどに 短くなるため マシンのメンテナンスコストが高つくのも 問題点である。

4. 『低速高送り加工』技術とは

以上に述べたような『高速回転、浅切込、高送り加工』の問題点を改善し より能率的なNC加工を 実現するために 開発した加工技術である。 略称『LH加工』と呼ぶ。

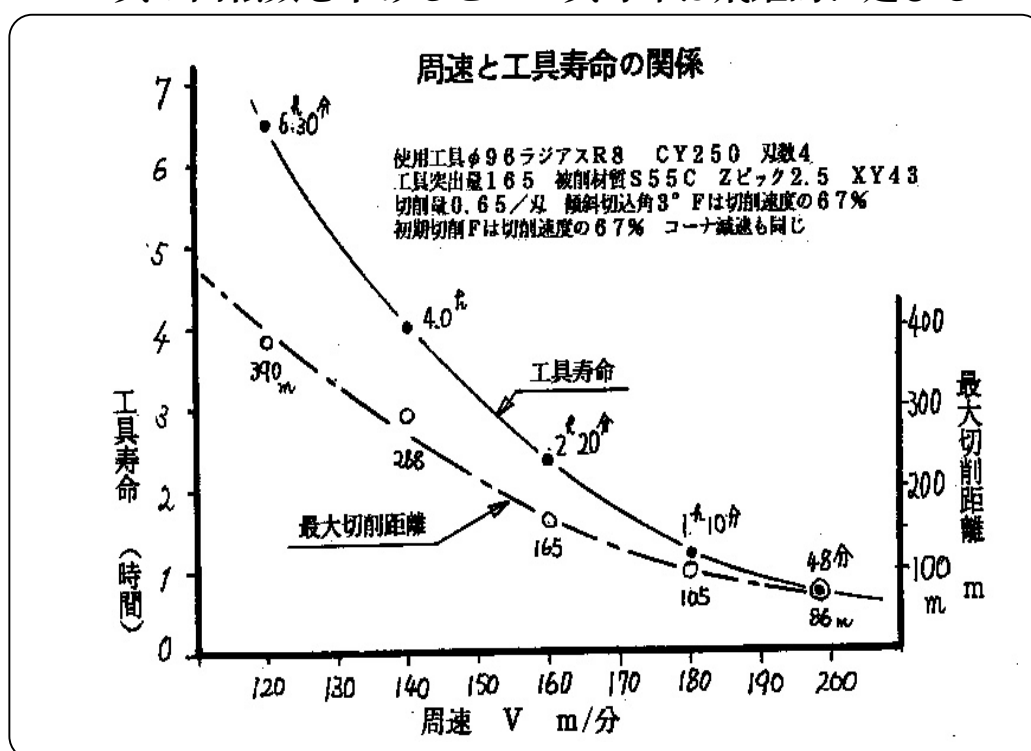
特徴

- (1) 低速回転での切削加工を 行なう。

使用工具の周速を 通常の工具切削条件の1/2以下の低速回転とする。

このことにより 切削時の刃先発熱量が1/3以下に減少し 刃先の熱損傷の影響が大幅に軽減され 結果として 工具寿命を2～4倍以上に 延ばすことができる。

工具の回転数を下げると 工具寿命は飛躍的に延びる



上表では 加工材質を 炭素鋼 S55Cで行なっているが この条件は ほとんど 全ての 金属用材料に適用できる ことが 検証、証明されている。

(2) 1刃切削量限界値を従来の5倍以上にした新工具の開発。

低速高送り加工は高速切削条件と較べると $1/3 \sim 1/5$ に減速しているため 切削速度は 回転数に比例して 低下する。この低下をカバーするためには使用工具の1刃切削量 f_z を 例えば、 $\phi 10$ mmボールエンドミルでは 0.2 mm であるが それを5倍の 1.0 mm にすれば良い訳ある。

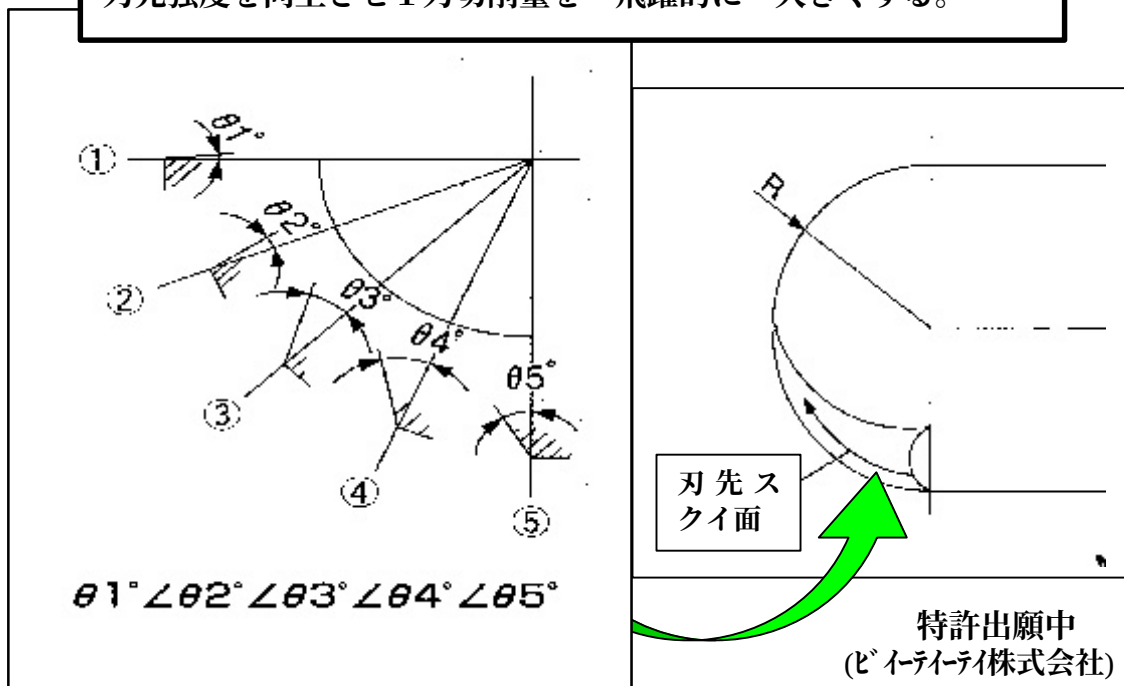
大きなサイズの鋼材ブロックから 大量の切粉を除去しなければならないプラスチック金型の大荒取加工 等では 1刃切削量 1.0 mm以上で 切削ができ、毎分当り驚異的な切粉排出量が稼げるスローアウェイ形の高送りラジアスミルがボールエンドミルに取って変わりつつある。

この流れは プレス金型やダイカスト金型等にも 波及しつつあり、ラジアスエンドミルの切粉排出性能の優秀性が証明されてきている。しかし、 $\phi 20$ mm以下では 1刃切削量 0.2 mmまでしか実現できていなかった。

$\phi 10$ mmエンドミルで 今まで 開発が不可能と言われた1刃切削量 1.0 mm切削が 低速回転で 実現できる驚異的な 超強力超硬ソリッドエンドミル群の開発に 今回、成功しました。
(ビーティーティ株)と共同開発)

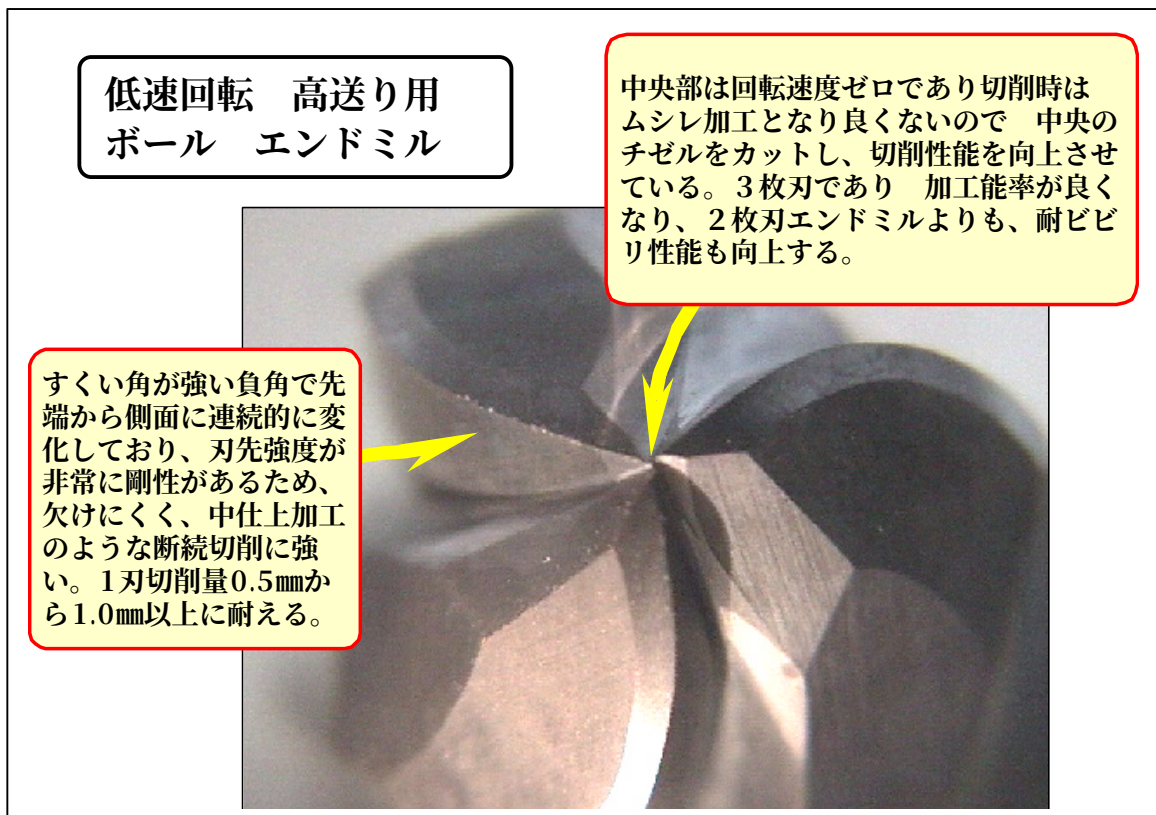
開発のポイント

切刃のスクイ面を 連続的に変化した ネガ角度にすることで 刃先強度を向上させ1刃切削量を 飛躍的に 大きくする。

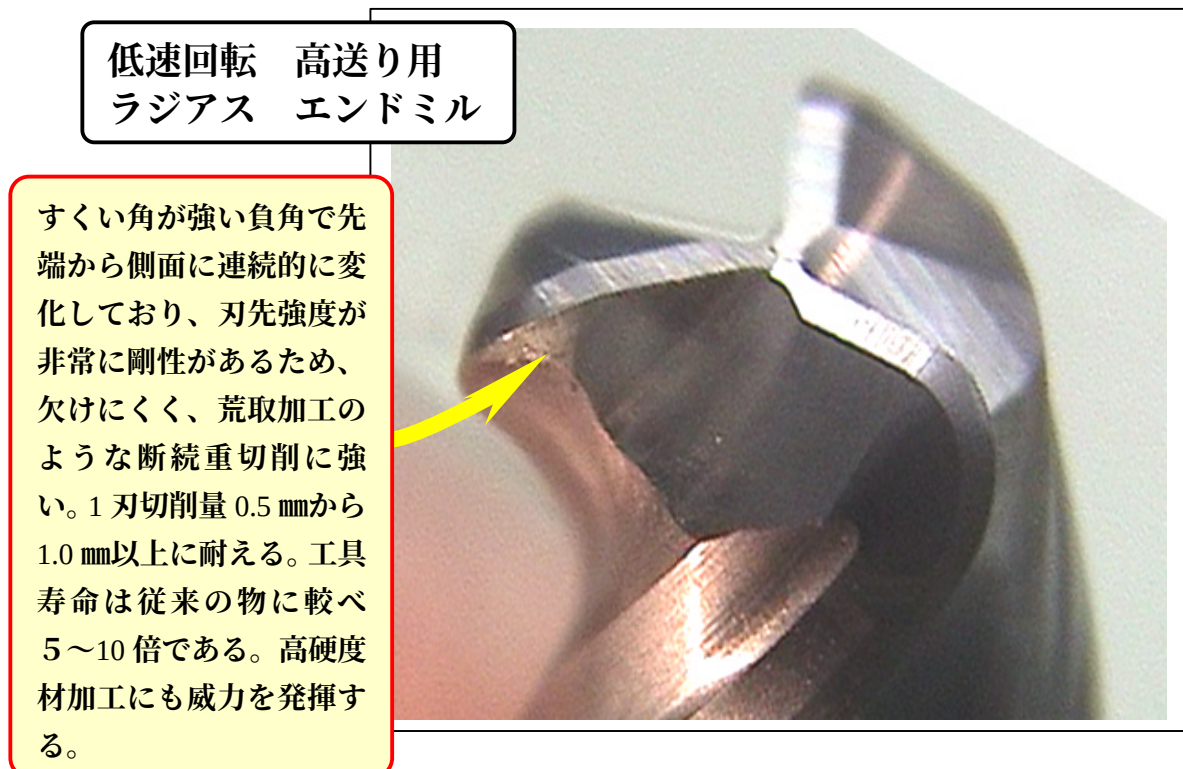


新開発の 低速高送り加工用 各種エンドミル

1. 仕上 及び 中仕上 用 ボール (φ20～φ1.0)



2. 小径高送り用ラジラスエンドミル (φ20～φ0.4)



低速高送り用の工具は 前頁のソリッドエンドミルだけでなく、市販スローアウェイ チップ方式の工具でも 転用可能なものもある。
この場合の工具は ラジアスミルφ100～φ20 、ボールエンドミルφ50～φ20 であり、当社では 転用可能な加工工具の選定、評価が完了しつつあり、これら工具の低速高送り加工条件表が整備できている。

ここでは、大型～小型金型 の 加工事例を以下に紹介します。

低速高送り加工

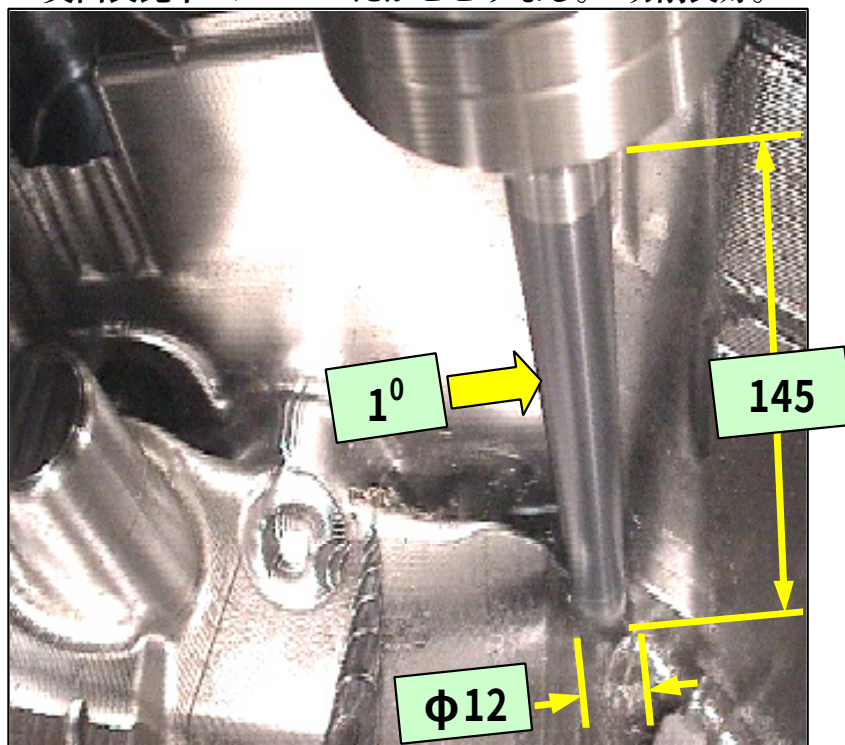
加工事例 1

焼入ダイス鋼の 低速高送り加工 の 事例
(放電加工レスを実現する 超ロング突き出し加工)

突出長比率 $L/D=12$ だがビビリなし。 切削良好。

NCマシン；通常タイプ
加工材質；SKD61
材料硬度；44HRC
使用工具；φ12 R2
突出長 ；145 mm
切削速度；F 3440
回転数 ；S 1480
周速 ；V 55.8m
1刃切削；0.97 mm
Z切込量；0.7 mm
加工時間；120 分

刃先損傷；ほとんど
認められず
まだ加工可能



回転数 S 1480 と非常に低く 従来の NCマシンでも 問題なく使用できる加工条件である。

高硬度材で φ12 で 145 mmの工具突出長の加工は NC直彫加工は 考えられず、通常では 放電加工である。

しかも、Z切込量が0.7 mmと大きく、切削速度F 3440 で の加工は 常識外の加工速度である。高速回転高送り加工では Z切込量は 0.1 mm程度である。1刃切削量は 0.97 mmと大きく 2時間加工しても 刃先損傷発生していない。

市販工具を『低速高送り加工』用に 利用する方法。

スローアウェイ(チップ交換式)タイプの市販工具を テストしてみると 特定のメーカの工具は そのボディ (ホルダー)を 利用し 低速高送り加工用仕様として 適切な材質とコーティングの特注チップを 組合わせ、更に、高剛性防振アーバ を 使用することで 効率の良い 大幅時間短縮を可能とする 低速高送り加工を実現できる。従来、市販の高送ラジラスと呼ばれている高能率加工用の工具を大きく 越える加工性能を得ることができる。

これらの工具メーカリストと 最適加工条件データは 既に 整備済みである。φ100～φ20 のサイズで 大型～中型金型へ 採用して大きな効果を出している。次の事例は この応用例である。

低速高送り加工

加工事例 2

**1刃当り3.5 ミリの驚異的な加工で 画期的な超深彫
大切粉排出量で 長寿命な 無人荒取加工を 実現。**

大型バンパー金型の荒取加工 (材質 S55C)

1刃切削量 3.5 mmの切粉

工具径φ96 工具突出長 600 mm 切込深さ1.5 切削速度 F1400 周速 70m 以下



従来の荒取加工に較べて 加工時間は 40%以上短縮。チップ寿命は 8～10 時間/1チップ・1箇所 で非常に長く 無人加工が行なえた。

アーバは 低速高送り加工用に自社開発した強力防振アーバを採用。突き加工よりも効率が 良く 工具寿命も 8倍以上の 結果が出ている。

低速高送り加工

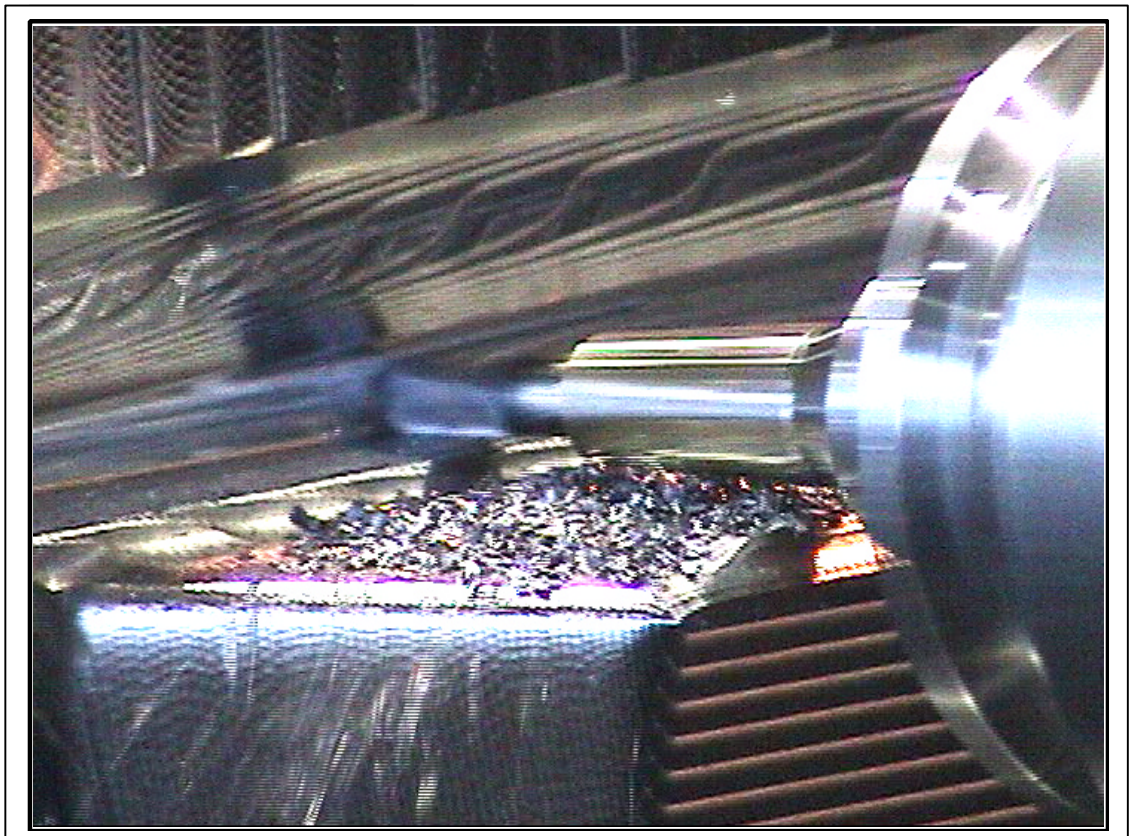
加工事例 3

工具寿命の短い NAK80 荒取加工を飛躍的に改善
従来のボールエンドミルより 60%時間短縮できた)

プラスチック金型で採用されている あまり切削性が良くない NAK80 (HRC40) で 加工深さが 120 mmの 比較的 狭くて深い3次元形状の溝加工がある 金型で 従来、 ボールエンドミルで荒取加工をしていたが 加工時間が大きくかかり 問題となっていた。

時間短縮のため、 $\phi 10R2$ ラジアスミル 当社開発の 低速高送り加工用 工具ハイパー)でもって 工具突出長 125 mmと長い 首下長 60 mm)にもかかわらず 低速高送り加工 で加工した結果、 従来 300 分が 120 分となり 60%加工時間短縮ができた。

$\phi 10R2$ ラジアスミル (ハイパー)で 低速高送り加工中の金型



最大回転数 4000rpm しか上がらない従来形の マキノ H1710 横型 NC マシン (数値制御装置 FANUC 15M) で 回転数 3300rpm で 切削速度 F 4000 1刃切削量 0.4 Z切込量 0.6 の『低速高送り加工』を実施。加工時間 2.0 時間で NAK80 を加工したにもかかわらず刃先磨耗は ほとんど無かった。

低速高送り加工

加工事例 4

切削性のあまりよくない SUS 系 STAVAX 材 小物金型
低速高送り加工で 荒取、中仕上加工を行なう。
仕上加工を含めて 総加工時間 10時間を実現した。
工具磨耗は 微小であり ほとんど 分らない状態であつた。 従来加工時間を 50%以上 短縮 できた。

材質 STAVAX 硬度 33HRC 最小ピン径 1.8 mm



最大加工深さ 21 mm 最小間隔 2.5 mm

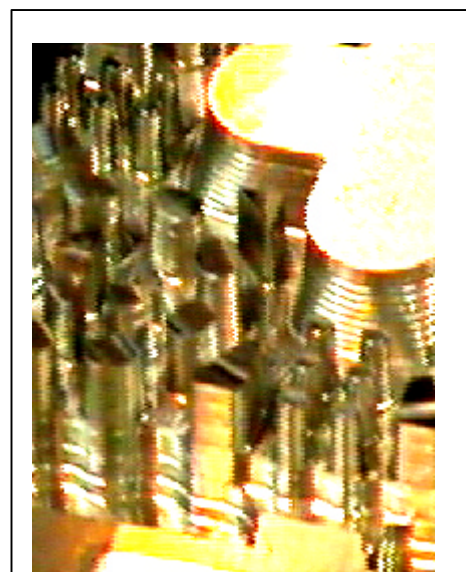
仕上面の面粗さ 0.001 mm



φ3.0～φ2.0 mm 低速高送り加工用ハイパー
ペンシルネックラジアスミル 1°で荒取加工



回転数 S5300 Z 切込量 0.6 mm
切削速度 F1100 突出長 22 mm



低速高送り加工

加工事例 5

現状の問題点

SKD61 焼入硬度 60 HRC 小物 鍛造金型 の 直彫加工
従来は 30000回転/分の 高速NCマシンで行なっていたが
工具寿命が 10~15分で寿命となり 工具
コストの増大が問題となっていた。また、社内に1台しかないため
短納期対応で コストと時間のかかる放電加工を
併用せざるをえなかった。



低速高送り加工

使用NCマシンは 高速NCマシンを使用せずに 普通の 最大
回転数8000 の NCマシンで R3~R0.5 低速高送り加工
用工具を使用して 低速荒取、低速加工を行なう。
総加工時間 40分で 高速NCマシンと 大差なく 加工ができた。
工具磨耗は 微小であり ほとんど 分らない状態であつた。
工具寿命は 従来の5倍以上となっている。

材料硬度 60 HRC 低速高送り加工 面粗さ 0.002 mm

