

# プラチナ X's ミルハードシリーズの特性と切削性能

Milling Performance of Platina X's-mill Hard

## キーワード

高硬度材、高能率加工、複合超多層コーティング、耐チップング性、  
高速ドライ加工、耐熱性

工具製造所技術一部

堀 功

## 1. はじめに

エンドミルによる焼入れ材・高硬度材の高能率加工は、高速高送りが可能な工作機械の浸透とともに急速に普及してきた。

特に工程短縮によるコストダウン及び加工精度の向上をねらった焼き入れ金型鋼の直彫り加工は、金型加工業のトレンドとなりつつある。

当社はこれらのニーズを満すため、プラチナ X's ミルスクエアシリーズ及びボールの商品化に続き、焼入れ材・高硬度材の高能率加工用としてプラチナ X's ミルハードレギュラー及びハードボールを商品化した。

図1にプラチナ X's ミルハードシリーズの外観形状を示す。

と、左の場合は約 760N、右の場合は約 310N と半分以下である。

このように新しい加工法では、切削抵抗が大幅に低減するため、送り量を数倍にしても何ら支障がないことがわかる。

すなわち、低切込み高送りへの加工法の変化にともなうエンドミルの設計面の変化としては、

## 2. エンドミル加工法の変化とプラチナ X's ミルハードシリーズの特長

### 2.1 エンドミル加工法の変化

従来の加工法は「高切込み低送り」が主流であったが、最近の加工法は「低切込み高送り」に変わってきている。

図2は低切り込み高送りの利点を説明したものである。左の図は従来の加工法で、半径方向切込み深さをエンドミル外径の半分である 5mm とし送り量は 0.043mm/刃にしている。それに対して右の図は最近の加工法で、半径方向切込み深さを 1/10 の 0.5mm とし送り量は左の 2.5 倍の 0.1mm/刃にしている。被削材を S50C としたときの最大切削抵抗を比較する

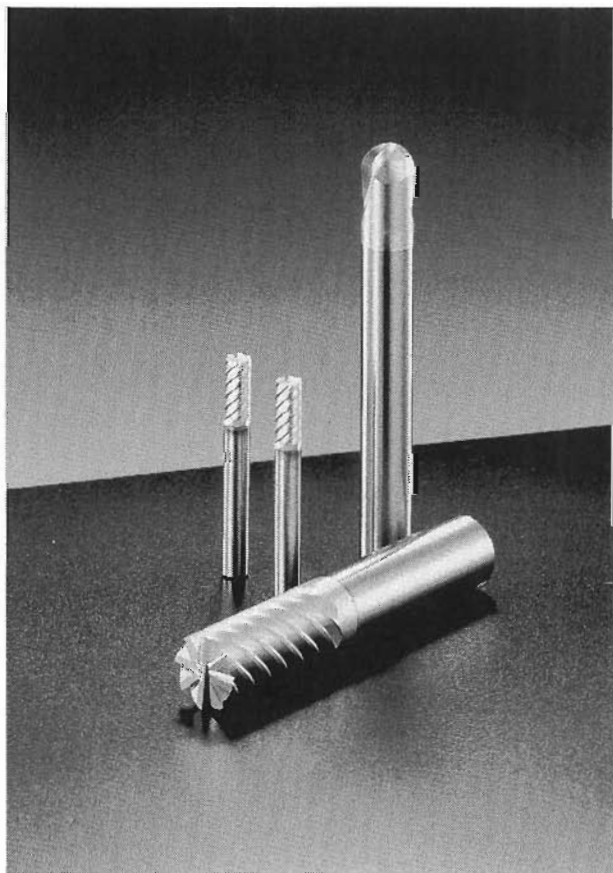


図1 プラチナ X's ミルハードシリーズの外観

φ10mmエンドミルの場合

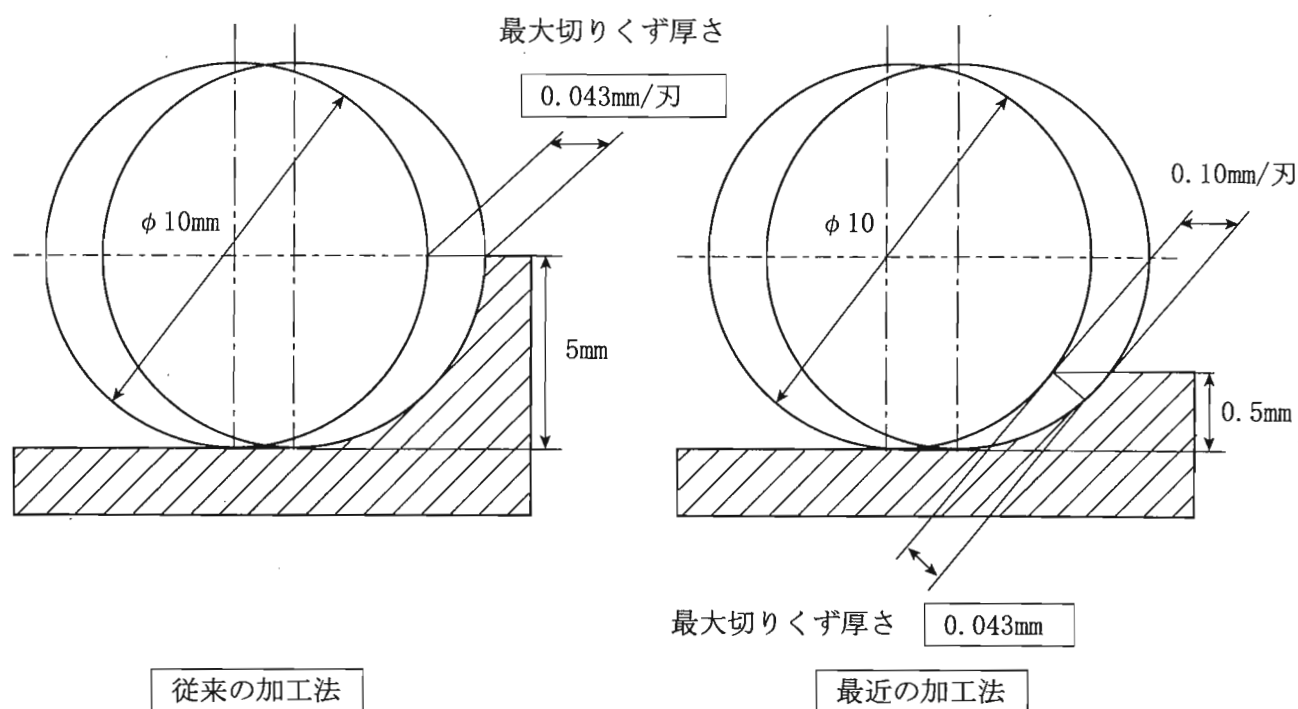


図2 エンドミル加工法の変化

- (1) チップポケットを最小化する。
  - (2) 心厚は最大限大きくすることができ、結果として、
  - (3) 加工面の倒れが小さくなる。
  - (4) 切削抵抗の減少により、高送り加工が可能になる。
  - (5) 切削抵抗の減少により切削トルクが小さくなるので高速回転での加工が可能になる。
  - (6) 高速回転での加工すなわち高速加工においては、発生熱が切りくずへ移送することから、ワーク精度が安定し、工具損傷が減少する。
- というさまざまな利点が生まれる。  
 このような設計上の変化を踏まえて、プラチナ X's ミルハードシリーズは次のような特長を持つ。

## 2.2 プラチナ X's ミルハードレギュラー

従来の設計思想である強ねじれ角で大きな刃物角を踏襲しつつ、加工面精度の向上、コーナ部の耐チップング性の向上を図り、さらに高速加工にも対応できてドリリングが可能のように、

- (1) ねじれ角 50° の採用
- (2) 硬さ 93HRA を超える新開発の超微粒子超硬合金の採用
- (3) 耐熱性に優れた複合超多層コーティングの採用

- (4) センターカット刃の採用  
 を行った。これらにより、60HRC 以上の焼き入れ鋼を高能率で加工できるようになった。

## 2.3 プラチナ X's ミルハードボール(Pat.P)

高硬度材の高速輪郭加工をターゲットに、従来の超硬ボールエンドミルとは大幅に異なった設計思想で、

- (1) 先端部だけの R 刃付けで剛性を向上
- (2) 高硬度材加工に最適なボール形状：強いボールねじれ角（強 S 字刃形）と負のすくい角の採用
- (3) 耐チップング性を重視した極超微粒子超硬合金の採用
- (4) 耐熱性に優れた複合超多層コーティングの採用により、従来では不可能であった 60HRC 以上の焼き入れ鋼の高速高能率加工が安定して行えるようになった。

## 3. 寸法範囲

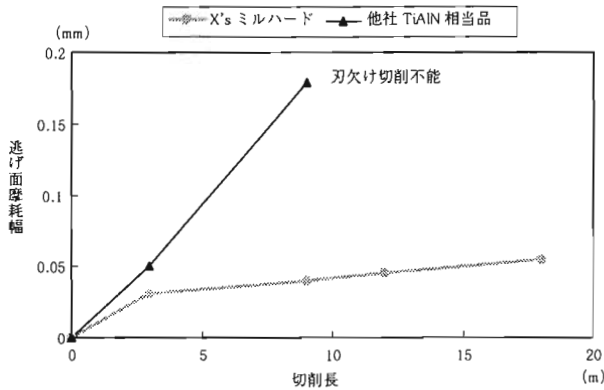
表 1 にプラチナ X's ミルハードシリーズの寸法を示す。

ハードレギュラーはφ6～φ20の6寸法で、φ12以上については8枚刃を採用したので、より高能率な加工が可能である。ハードボールでは、ボール半径 R1

表1 プラチナ X's ミルハードシリーズの寸法

| ハードレギュラー |     |    |       |    |
|----------|-----|----|-------|----|
| 外径       | 全長  | 刃長 | シャンク径 | 刃数 |
| 6        | 50  | 13 | 6     | 6  |
| 8        | 60  | 19 | 8     | 6  |
| 10       | 70  | 22 | 10    | 6  |
| 12       | 75  | 26 | 12    | 8  |
| 16       | 90  | 32 | 16    | 8  |
| 20       | 100 | 38 | 20    | 8  |

| ハードボール |    |     |     |       |    |
|--------|----|-----|-----|-------|----|
| ボール半径  | 外径 | 全長  | 刃長  | シャンク径 | 刃数 |
| R1     | 2  | 60  | 1   | 6     | 2  |
| R1.5   | 3  | 70  | 1.5 | 6     | 2  |
| R2     | 4  | 80  | 2   | 6     | 2  |
| R2.5   | 5  | 80  | 2.5 | 6     | 2  |
| R3     | 6  | 90  | 3   | 6     | 2  |
| R4     | 8  | 100 | 4   | 8     | 2  |
| R5     | 10 | 110 | 5   | 10    | 2  |
| R6     | 12 | 120 | 6   | 12    | 2  |
| R8     | 16 | 150 | 8   | 16    | 2  |
| R10    | 20 | 160 | 10  | 20    | 2  |



エンドミル：φ10mm 6枚刃 被削材：SKD11 (60HRC)  
 切削速度：75m/min 切り込み： $a_p$ 10mm  $a_e$ 0.2mm  
 送り速度：1,400mm/min (0.097mm/刃)  
 ドライ (エアブロー), ダウンカット

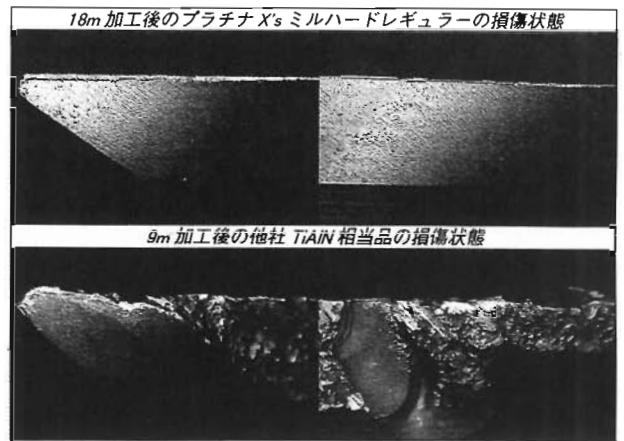


図3 プラチナ X's ミルハードレギュラーと他社品との寿命比較

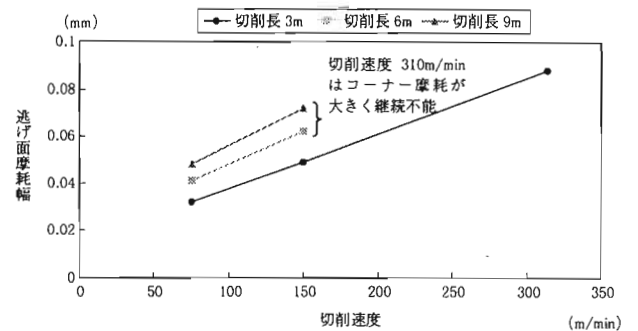
～R10 までの 10 寸法がある。

## 4. プラチナ X's ミルハードシリーズの切削性能

### 4.1 プラチナ X's ミルハードレギュラーの場合

図3は、SKD11 (60HRC) をφ10mm、6枚刃のエンドミルで高速ドライ加工した事例である。他社 TiAlN コーティング相当品は6m加工あたりから火花が発生し、切削長 9m では外周刃ランド幅全体に摩耗が進行し寿命となった。プラチナ X's ミルハードレギュラーは 18m 加工後でも  $VB=0.060$ mm と正常摩耗であった。

図4は、同じ材料で速度を変えて寿命テストを行った事例である。60HRC を超える被削材の場合、工具の逃げ面摩耗はほぼ切削速度に比例する。ただしコーナ摩耗の進展が早くなり工具寿命を支配するため、切削速度はこの切削条件では 100m/min あたりが限



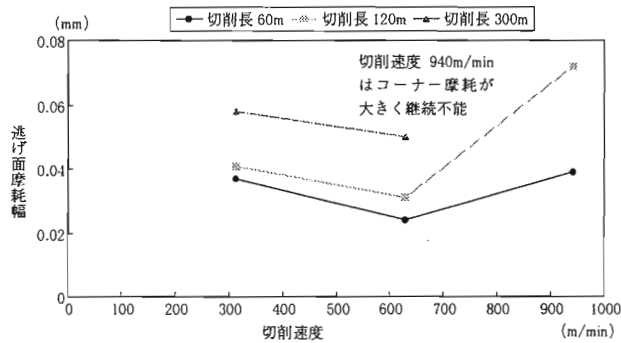
エンドミル：φ10mm 6枚刃 被削材：SKD11 (60HRC)  
 送り量：0.097mm/刃一定 切り込み： $a_p$ 10mm  $a_e$ 0.2mm  
 ドライ (エアブロー), ダウンカット

図4 切削速度と摩耗推移 (SKD11 の場合)

界と思われる。

それに対して、図5はSKD61 (52HRC) で切り込み条件は変えずに切削速度を変えてテストした結果である。被削材の硬さが52HRCまで下がると被削性が大幅に変わるために、マシンの最高回転数に相当する切削速度 940m/min まで加工を行うことができた。

また切削速度 630m/min 付近に摩耗の変曲点があり最適条件はかなり高速側にあることがわかる。高速



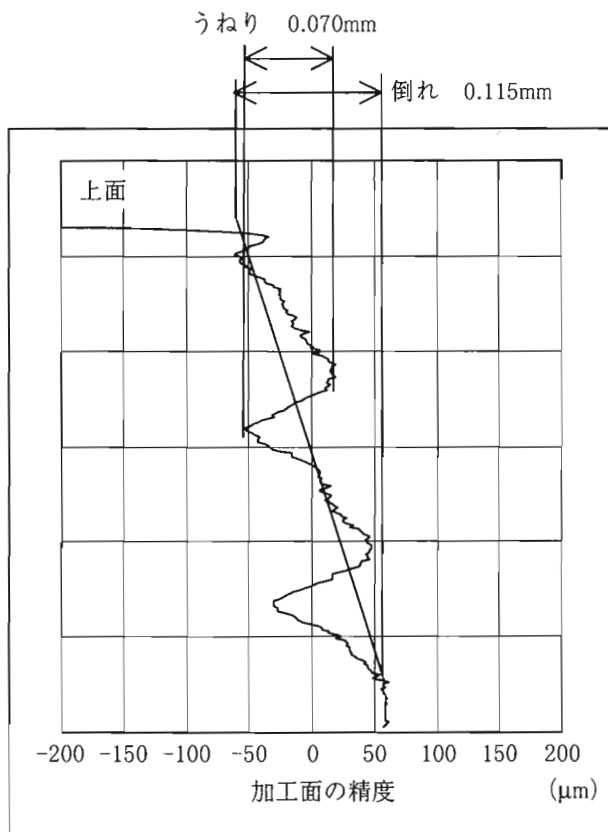
エンドミル：φ10mm 6枚刃 被削材：SKD61 (52HRC)  
 送り量：0.097mm/刃一定 切り込み： $a_p$ 10mm  $a_e$ 0.2mm  
 ドライ（エアブロー），ダウンカット

図5 切削速度と摩耗推移（SKD61の場合）

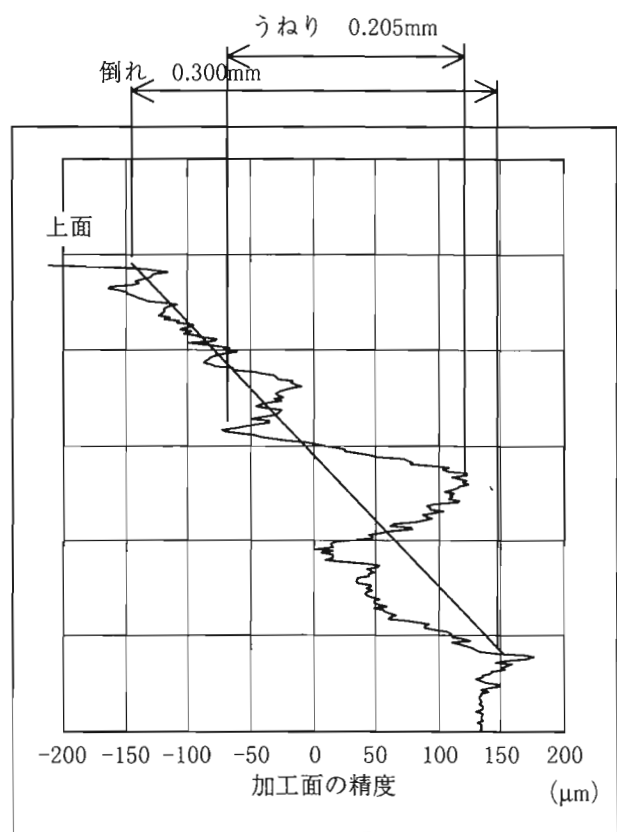
における切削のメカニズムは、種々学説もあるが、我々も新しいアプローチで解析を試みている。

図5から、切削速度が630m/minを越えると摩耗が急速に大きくなるのがわかる。切削速度940m/minの時、切りくず形態がせん断形に変化していることが観察され、切りくず生成のメカニズムと摩耗の進展速度には何らかの関係があると思われる。

図6は、φ12mmのエンドミルで側面加工した事例で加工面精度を比較したものである。プラチナX'sミルハードレギュラーでは、φ12mm以上は8枚刃を採用している所以他社TiAlNコーティング相当品に比べ1.33倍の送り速度で加工が可能である。多刃の採用と設計面の工夫により加工面のうねり及び倒れが他社相当品に比較して小さいことがわかる。



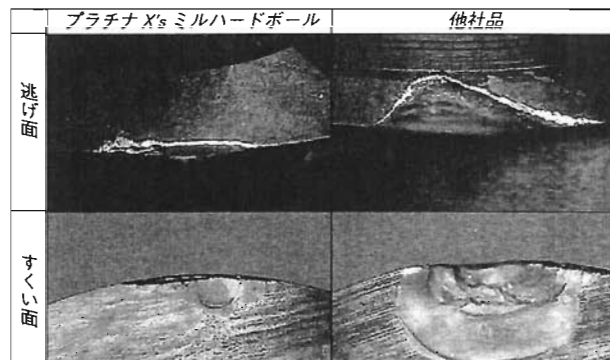
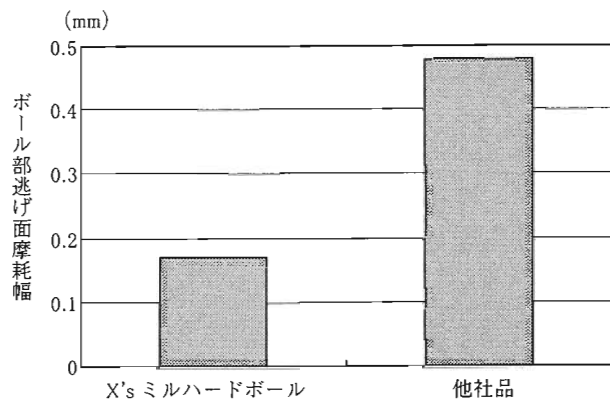
プラチナ X's ミルハードレギュラーでの加工面



他社品での加工面

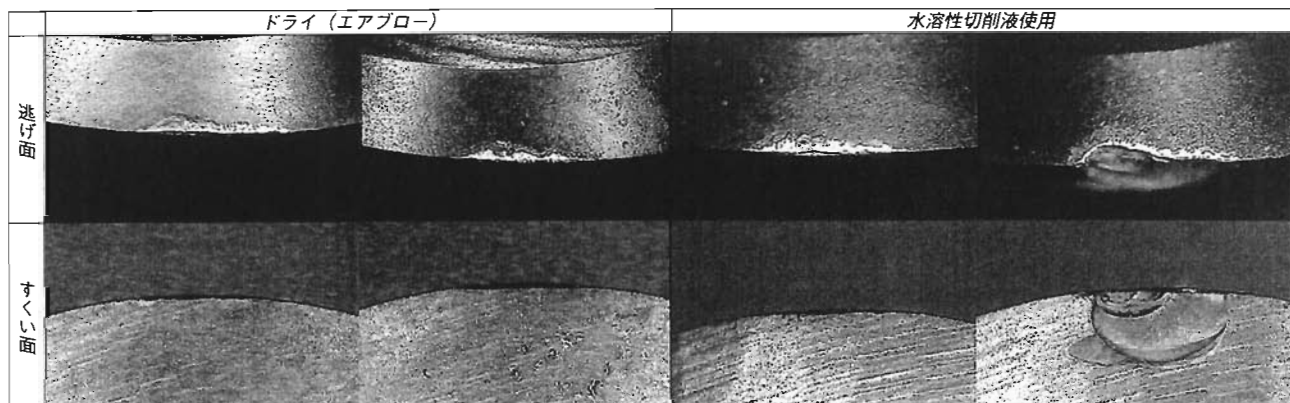
エンドミル：φ12mm (X's ミルハード8枚刃, 他社品6枚刃)  
 切削速度：75m/min  
 送り量：0.10mm/刃 (送り速度：X's ミルハード1,600mm/min, 他社品1,200mm/min)  
 被削材：SKD11 (60HRC)  
 切削長：X's ミルハード10.8m 他社品8.1m  
 切り込み： $a_p$ 12mm  $a_e$ 0.2mm ドライ（エアブロー），ダウンカット

図6 プラチナ X's ミルハードレギュラーと他社品との加工面の精度比較



エンドミル：R3mm 2枚刃 被削材：SKD11 (60HRC)  
 切削速度：110m/min (11,700min<sup>-1</sup>) 切り込み：a<sub>p</sub>0.18mm p<sub>d</sub>0.18mm  
 送り速度：1,400mm/min (0.060mm/刃) 水溶性切削液，ダウンカット，30°等高線  
 切削長：38m

図7 プラチナ X's ミルハードボールと他社品との損傷状態比較



エンドミル：R4mm 2枚刃 被削材：SKD11 (60HRC)  
 切削速度：110m/min (8,750min<sup>-1</sup>) 切り込み：a<sub>p</sub>0.24mm p<sub>d</sub>0.24mm  
 送り速度：1,400mm/min (0.080mm/刃) ダウンカット，30°等高線  
 切削長：28m

図8 切削液の影響

## 4.2 プラチナ X's ミルハードボールの場合

図7は、R3のボールエンドミルでSKD11 (60HRC)を等高線切削で高速ドライ加工した事例である。切削長38m加工後の損傷は、明らかに他社品に比べ小さく優れていることが分かる。

図8は、切削液の影響を調査した事例である。R4のエンドミルを用い、ドライと水溶性切削液による損傷状態を比較した。28m加工後の損傷はドライ加工の方が非常に小さい。これは水溶性切削液による熱衝撃のため、損傷が大きくなったものと推察される。高速で焼入れ材を加工する場合、ドライ加工を推奨する。

## 4.3 基準切削条件

表2にプラチナ X's ミルハードシリーズの基準切削条件を示す。最適な切削条件は、被削材の形状・材質・硬さ・組織によって変わり、さらに使用機械・被削材の保持状態・切削油剤などによっても異なることがあるので、状況に応じて変更いただきたい。

## 5. おわりに

今回紹介したプラチナ X's ミルハードシリーズは、焼入れ材・高硬度材の高精度、高能率加工を目的として開発されたものである。特に金型の直彫り加工を推進する上では欠かせない工具であり、高速加工

による加工時間の短縮を実現し生産性の向上をはかる上で大いに貢献できる工具である。是非お試しいただきたい。

今後もプラチナ X's ミルシリーズとともにハードシリーズも種類・寸法の拡充を行ってゆく予定である。

表2 プラチナ X's ミルハードシリーズの基準切削条件

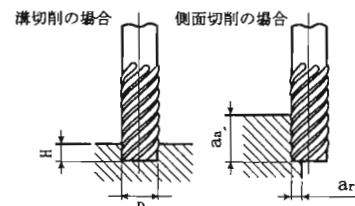
プラチナ X's ミルハードレギュラーの切削条件

汎用機械使用及び溝切削の場合

| 外径<br>mm | 焼き入れ鋼<br>65HRC~  |                        | 焼き入れ鋼<br>60~65HRC  |  | 焼き入れ鋼<br>55~60HRC                    |                       | 焼き入れ鋼<br>45~55HRC                           |                        |                       |
|----------|--|------------------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|-----------------------|
|          | 回転数<br>min <sup>-1</sup>                                 | 送り速度<br>mm/min         | 回転数<br>min <sup>-1</sup>                                 | 送り速度<br>mm/min                               | 回転数<br>min <sup>-1</sup>             | 送り速度<br>mm/min        | 回転数<br>min <sup>-1</sup>                    | 側面削り<br>送り速度<br>mm/min | 溝削り<br>送り速度<br>mm/min |
| 6        | 800  | 110                    | 1,100  | 120  | 1,350                                | 150                   | 2,100                                       | 500                    | 200                   |
| 8        | 600  | 110                    | 800  | 120  | 1,000                                | 170                   | 1,600                                       | 500                    | 200                   |
| 10       | 480  | 110                    | 640  | 120  | 800                                  | 190                   | 1,300                                       | 510                    | 210                   |
| 12       | 400  | 120                    | 530  | 130  | 650                                  | 250                   | 1,100                                       | 630                    | 250                   |
| 16       | 300  | 100                    | 400  | 100  | 500                                  | 220                   | 800   | 500                    | 200                   |
| 20       | 240  | 90                     | 320  | 100  | 400                                  | 190                   | 640   | 450                    | 180                   |
| 切り込み量    | $a_p=1D$<br>$a_e=0.2mm$ 以下<br>$H=0.05Dmm$ 以下<br>最大 0.5mm |                        | $a_p=1D$<br>$a_e=0.2mm$ 以下<br>$H=0.05Dmm$ 以下<br>最大 0.5mm |  | $a_p=1D$<br>$a_e=0.05D$<br>$H=0.05D$ |                       | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.05D$<br>$H=0.05D$ |                        |                       |
| 外径<br>mm | 中硬度鋼<br>35~45HRC   |                        |  | 低硬度鋼<br>35HRC以下                              |                                      |                       |   |                        |                       |
|          | 回転数<br>min <sup>-1</sup>                                 | 側面削り<br>送り速度<br>mm/min | 溝削り<br>送り速度<br>mm/min                                    | 回転数<br>min <sup>-1</sup>                     | 側面削り<br>送り速度<br>mm/min               | 溝削り<br>送り速度<br>mm/min |   |                        |                       |
| 6        | 3,700  | 1,300                  | 520  | 5,300  | 1,900                                | 760                   |   |                        |                       |
| 8        | 2,800  | 1,300                  | 520  | 4,000  | 1,900                                | 760                   |   |                        |                       |
| 10       | 2,200  | 1,300                  | 520  | 3,200  | 1,900                                | 760                   |   |                        |                       |
| 12       | 1,900  | 1,550                  | 620  | 2,700  | 2,000                                | 800                   |   |                        |                       |
| 16       | 1,400  | 1,300                  | 520  | 2,000  | 1,800                                | 720                   |   |                        |                       |
| 20       | 1,100  | 1,100                  | 440  | 1,600  | 1,600                                | 640                   |   |                        |                       |
| 切り込み量    | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.05D$<br>$H=0.1D$               |                        |  | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.1D$<br>$H=0.5D$ 以下 |                                      |                       |   |                        |                       |

高速型マシニングセンタの場合

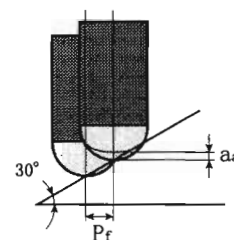
| 外径<br>mm | 焼き入れ鋼<br>60~65HRC          |                | 焼き入れ鋼<br>55~60HRC                   |                | 焼き入れ鋼<br>45~55HRC              |                | 中硬度鋼<br>35~45HRC               |                | 低硬度鋼<br>35HRC以下               |                |
|----------|----------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|          | 回転数<br>min <sup>-1</sup>   | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup>            | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup>       | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup>       | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup>      | 送り速度<br>mm/min |
| 6        | 4,000                      | 1,400          | 8,000                               | 2,900          | 16,000                         | 5,800          | 16,000                         | 5,800          | 16,000                        | 5,800          |
| 8        | 3,000                      | 1,400          | 6,000                               | 2,900          | 12,000                         | 5,800          | 12,000                         | 5,800          | 12,000                        | 5,800          |
| 10       | 2,400                      | 1,400          | 4,800                               | 2,900          | 9,500                          | 5,700          | 9,500                          | 5,700          | 9,500                         | 5,700          |
| 12       | 3,200                      | 1,200          | 4,000                               | 2,400          | 8,000                          | 4,800          | 8,000                          | 4,800          | 8,000                         | 4,800          |
| 16       | 1,500                      | 1,200          | 3,000                               | 2,100          | 6,000                          | 4,300          | 6,000                          | 4,300          | 6,000                         | 4,300          |
| 20       | 1,200                      | 960            | 2,400                               | 1,700          | 4,800                          | 3,400          | 4,800                          | 3,400          | 4,800                         | 3,400          |
| 切り込み量    | $a_p=1D$<br>$a_e=0.2mm$ 以下 |                | $a_p=1D$<br>$a_e=0.05D$<br>最大 0.5mm |                | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.05D$ |                | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.05D$ |                | $a_p=1\sim1.5D$<br>$a_e=0.1D$ |                |



1. ダウンカットでご使用下さい。
2. ワークや機械により振動や異音が発生するときは、状況に応じて切削条件を変更して下さい。

プラチナ X's ミルハードボールの切削条件

| ボール半径<br>mm | 切り込み量<br>mm |      | 焼き入れ鋼<br>60~65HRC        |                | 焼き入れ鋼<br>55~60HRC        |                | 焼き入れ鋼<br>50~55HRC        |                |
|-------------|-------------|------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
|             | $a_p$       | Pf   | 回転数<br>min <sup>-1</sup> | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup> | 送り速度<br>mm/min | 回転数<br>min <sup>-1</sup> | 送り速度<br>mm/min |
| R1          | 0.06        | 0.06 | 24,000                   | 860            | 30,000                   | 1,200          | 30,000                   | 1,200          |
| R1.5        | 0.09        | 0.09 | 18,640                   | 1,000          | 23,300                   | 1,400          | 28,000                   | 1,600          |
| R2          | 0.12        | 0.12 | 14,000                   | 1,000          | 17,500                   | 1,400          | 21,000                   | 1,600          |
| R2.5        | 0.15        | 0.15 | 11,200                   | 1,000          | 14,000                   | 1,400          | 18,800                   | 1,600          |
| R3          | 0.18        | 0.18 | 9,360                    | 1,000          | 11,700                   | 1,400          | 14,000                   | 1,600          |
| R4          | 0.24        | 0.24 | 7,040                    | 1,000          | 8,800                    | 1,400          | 10,600                   | 1,600          |
| R5          | 0.30        | 0.30 | 5,600                    | 1,000          | 7,000                    | 1,400          | 8,400                    | 1,600          |
| R6          | 0.36        | 0.36 | 4,640                    | 1,000          | 5,800                    | 1,400          | 7,000                    | 1,600          |
| R8          | 0.48        | 0.48 | 3,520                    | 1,000          | 4,400                    | 1,400          | 5,300                    | 1,600          |
| R10         | 0.60        | 0.60 | 2,800                    | 1,000          | 3,500                    | 1,400          | 4,200                    | 1,600          |



1. ダウンカットでご使用下さい。
2. この表は加工面傾斜角 30° 基準の切削条件です。
3. ワークや機械により振動や異音が発生するときは、状況に応じて切削条件を変更して下さい。