

# プラチナX'sミルの特性と切削性能

—— コーティング超硬ソリッドエンドミル ——  
Milling Performance of Platina X's-mill Series

## キーワード

新プラチナコーティング、複合超多層膜、耐摩耗性、高すくい角、高心厚、高剛性、高能率加工

工具製造所技術一部  
堀 功

## 1. はじめに

エンドミルにおける超硬化の波は、他のどの工具よりも急速でその市場規模も急拡大している。

その理由として、

- ①高能率加工の指向に伴う高速マシニングセンタの普及
- ②工程短縮と高精度化をねらった高硬度材加工の一般化があげられる。

これらの最も進んでいるのが、金型業界であり、主軸回転数が1万回転を超える機械が日常的に使用されている。また、高硬度材加工は、ファイン加工、傾斜加工、トロコイド加工またヘリカル加工など新しい加工方法により実用化されている。

当社は、これらのニーズを満たすため、従来に比べさらに高性能なコーティング超硬ソリッドエンドミルの第一段としてプラチナX'sミルボール<sup>(1)</sup>を商品化し、続いて今回スクエアシリーズを商品化した。

図1にプラチナX'sミルシリーズの外観形状を示す。

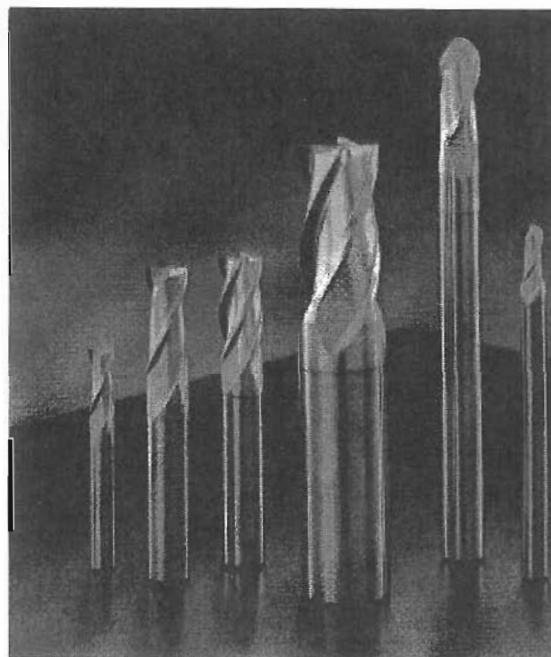


図1 プラチナX'sミルシリーズ外観

## 2. プラチナX'sミルの特長

プラチナX'sミルは、従来の汎用加工に加えて、上記の高硬度材加工にも十分対応することを狙って開発されたコーティング超硬ソリッドエンドミルである。

主な特長としては、

- ①40~55HRCに調質された金型鋼の中仕上げや仕上げ加工に最適
- ②合金鋼など機械部品用鋼材の生材から55HRCまでの広範囲に適応
- ③切削速度300m/minを超える高速・高能率加工が可能などであり、これらを最大限に具現化するため、新たに下記の要素技術を取り入れた。

- ④汎用切削速度から高速切削までに耐える新コーティング膜
  - ⑤耐摩耗性が高く耐チップング性に優れる超硬母材
  - ⑥剛性が高く、切削熱を抑制する刃形設計
- 以下にこれら新要素技術について説明を行う。

### 2.1 新プラチナコーティング

上記④に対しては新プラチナコーティングを開発した。これは当社が独自に開発したTiCN系の複合超多層膜である。従来のコーティング膜との特性の比較を表1に、概念図を図2に示す。

耐摩耗性の指標である被膜硬さは2,500~3,000HVと、従来のプラチナコーティングやTiAlNコーティングより硬く、550°Cの高温下でも、硬さの低下はみられず、耐熱特性

	耐摩耗性 (硬さ)	耐チッピング性 (靱性)	耐熱特性 (550°Cの高温硬さ)
新プラチナ	1000HV ~ 3000HV 軟 硬	欠けやすい ~ 欠けにくい	1000HV ~ 3000HV 軟 硬
プラチナ	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV
TiN	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV
TiAlN	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV	1000HV ~ 2000HV

表1 各種コーティング膜の比較

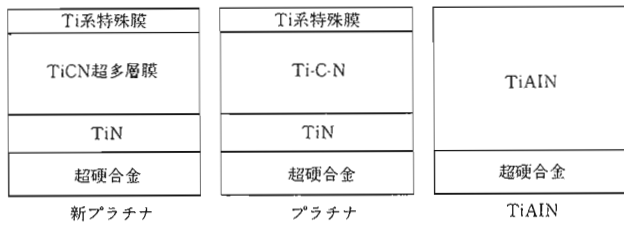


図2 コーティング膜の模式図

にも優れている。また、被膜硬さが高いにもかかわらず、靱性はTiNとほぼ同じである。

このように新プラチナコーティングは、耐摩耗性、耐熱特性、靱性ともに優れており、機能的にバランスのとれたコーティング膜である。

新プラチナコーティングは、各層に機能特性を持たせた3種の層からなる複合超多層膜である。

- (1) 下地層は、母材との密着性の良いTiNを施し、密着性を高める。
- (2) 中間層は、被膜硬度の高いTiCN系膜を超多層に組み合わせることにより、耐摩耗性を上げるとともに、膜の靱性を高くしている。また、図3に示すように膜の欠けの進行を遅らせる役目も果たす。
- (3) 最上層は、耐熱特性と潤滑性を併せ持ったTi系特殊膜である。

Ti系の硬質被膜のもつ各々の機能特性を、切削工具用コー

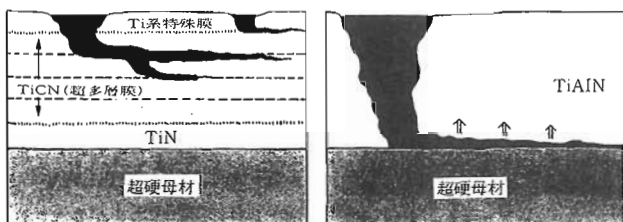


図3 欠けを吸収するコーティング膜

ティング膜として最大限に発揮できる組み合わせに構成したものが、新プラチナコーティングである。

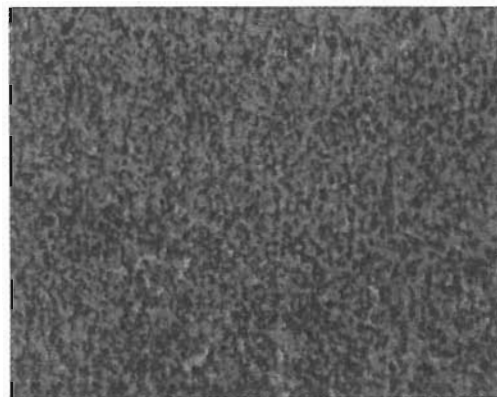
## 2.2 硬さと欠けにくさを両立した超硬母材

上記⑤に対しては、プラチナX'sミルは硬さと靱性をバランスさせた超微粒子超硬合金を採用している。図4にプラチナX'sミルと他社品の母材組織写真と特性値の比較を示す。

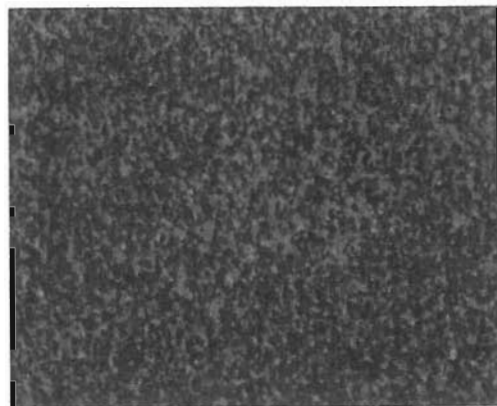
プラチナX'sミルに採用している超微粒子超硬合金は硬さと欠けにくさを両立した母材であり汎用材の加工から高硬度材の加工まで広い用途に適している。

## 2.3 新思想の刃形設計

エンドミルの刃先にチッピングが発生する最大の原因は切削中のびびりである。そこで上記⑥に対しては、心厚を直径の65%と今までの超硬エンドミルより約10%大きな高剛性設計を採用しびびりを抑えた。図5にプラチナX'sミルと従来の超硬エンドミルの軸直角断面の比較を示す。図からも分かるように、心厚を大きくとるとチップポケッ



プラチナX'sミル  
硬度：91.8HRA  
破壊じん性値：11.0MN・m<sup>-1.5</sup>



他社品  
硬度：91.5HRA  
破壊じん性値：9.1MN・m<sup>-1.5</sup>

図4 超硬母材の組織と特性値

トが小さくなるため切りくずつまりが懸念される。この問題点を、図6に示すように、すくい角を大きくすることにより切れ味を向上させ、切りくず離れをよくすることにより解決した。切れ味の向上については、図7の切りくずの写真にも示したとおり、切りくず厚さが小さくまたカールが非常にスムーズであることから確認されている。

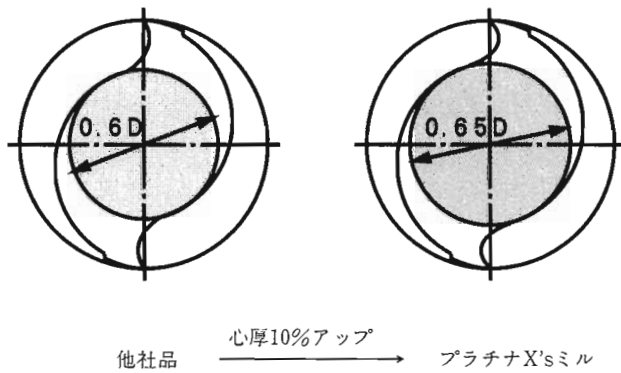


図5 プラチナX'sミルと他社品の心厚比較

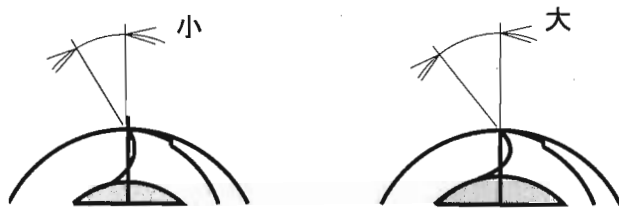


図6 プラチナX'sミルと他社品のすくい角の比較

### 3. 寸法範囲

表2にプラチナX'sミルシリーズの寸法を示す。

### 4. プラチナX'sミルの切削性能

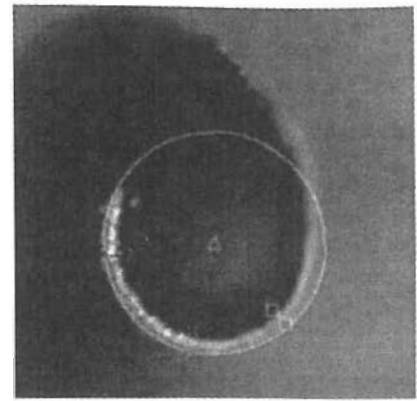
#### 4.1 汎用切削条件における性能

##### 4.1.1 高硬度金型材の切削

図8は高硬度金型材に対する切削性能を3種の汎用切削条件で比較したものである。

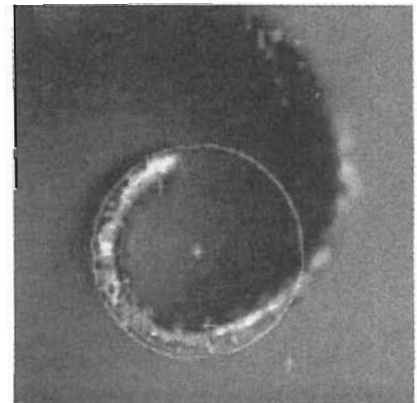
切削条件①で切削長L=15m連続加工したときのプラチナX'sミルの摩耗幅は、コーナ、逃げ面共に他社品よりも小さく安定している。刃先の様子を図9に示す。

プラチナX'sミルはコーナ部のチッピングがなく正常摩耗であるのに対し他社品には、チッピングが生じている。



プラチナX'sミル

切りくず厚さ：0.059mm  
カール半径：0.239mm



他社品

切りくず厚さ：0.062mm  
カール半径：0.302mm

図7 切りくず形態の比較

②は①と半径方向切り込みのみ $a_r=0.5\text{mm}$ に変えてテストした結果である。切削長L=6m(約45分)の連続加工後のコーナ及び逃げ面摩耗幅の比較では、プラチナX'sミルは、他社品に比べそれぞれ20%小さい結果である。

③は①と送り速度のみ $F=67\text{mm/min}$  ( $f=0.035\text{mm/刃}$ )に変えてテストした結果である。切削長L=9m(約2時間)の連続加工後の摩耗幅は、①②のテストと同様、他社品より小さく切削条件を変えても安定した性能が得られる。

##### 4.1.2 中硬度金型材の切削

図10は中硬度金型材に対する切削性能を比較したものである。切削長L=25m加工後(約2時間)の刃先の損傷状況を図11に示す。このときの摩耗幅はコーナ、逃げ面とも、プラチナX'sミルが、他社品の半分以下と小さく、損傷状態が他社品と同等となるまで加工を続けたところ2倍の切削長L=50m(約4時間)まで加工を継続できた。

これは、硬さと靱性のバランスのとれた母材と切削熱を抑制する新思想の刃形設計の効果である。

表2 プラチナX'sミルシリーズの寸法

2枚刃				4枚刃				ボール				
外径	全長	刃長	シャンク径	外径	全長	刃長	シャンク径	ボール半径	外径	全長	刃長	シャンク径
1	40	3	4					R 0.5	1	55	2.5	6
1.5	40	4	4					R 0.75	1.5	55	3.5	6
2	40	6	4	2	40	6	4	R 1	2	60	5	6
2.5	40	8	4	2.5	40	8	4	R 1.25	2.5	60	6	6
3	45	8	6	3	45	8	6	R 1.5	3	70	8	6
3.5	45	10	6	3.5	45	10	6	R 2	4	80	8	6
4	45	11	6	4	45	11	6	R 2.5	5	80	10	6
4.5	50	11	6	4.5	50	11	6	R 3	6	90	12	6
5	50	13	6	5	50	13	6	R 3.5	7	100	14	6
5.5	50	13	6	5.5	50	13	6	R 4	8	100	16	8
6	50	13	6	6	50	13	6	R 4.5	9	110	18	8
6.5	60	16	8	6.5	60	16	8	R 5	10	110	20	10
7	60	16	8	7	60	16	8	R 5.5	11	120	22	10
7.5	60	16	8	7.5	60	16	8	R 6	12	120	24	12
8	60	19	8	8	60	19	8	R 6.5	13	140	26	12
8.5	70	19	10	8.5	70	19	10	R 7	14	140	28	12
9	70	19	10	9	70	19	10	R 7.5	15	150	30	16
9.5	70	19	10	9.5	70	19	10	R 8	16	150	32	16
10	70	22	10	10	70	22	10	R 9	18	150	36	16
11	75	22	12	11	75	22	12	R 10	20	160	40	20
12	75	26	12	12	75	26	12	R 12.5	25	180	50	25
13	75	26	12	13	75	26	12					
14	90	26	16	14	90	26	16					
15	90	26	16	15	90	26	16					
16	90	32	16	16	90	32	16					
18	100	32	20	18	100	32	20					
20	100	38	20	20	100	38	20					

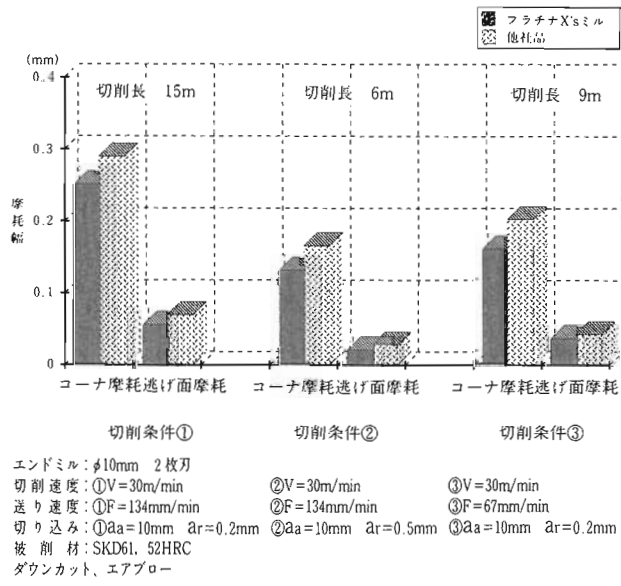
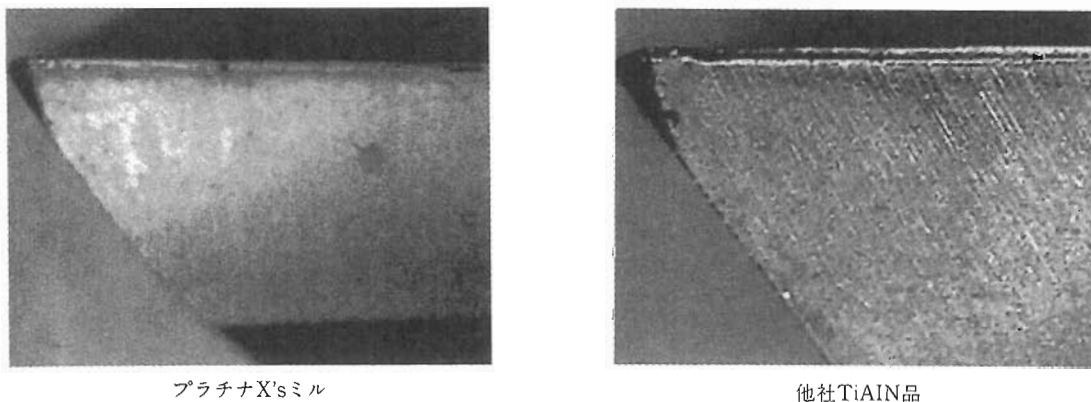


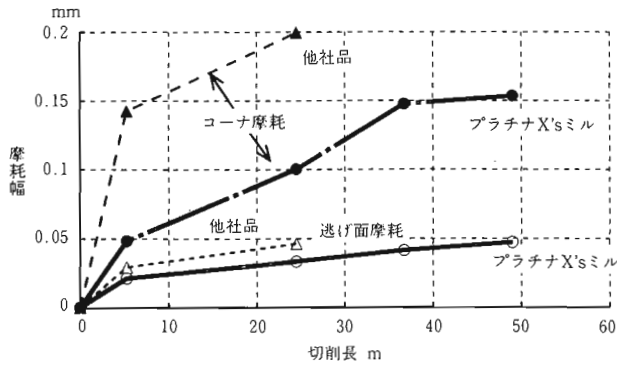
図8 高硬度材の切削性能（汎用切削条件）



プラチナX'sミル

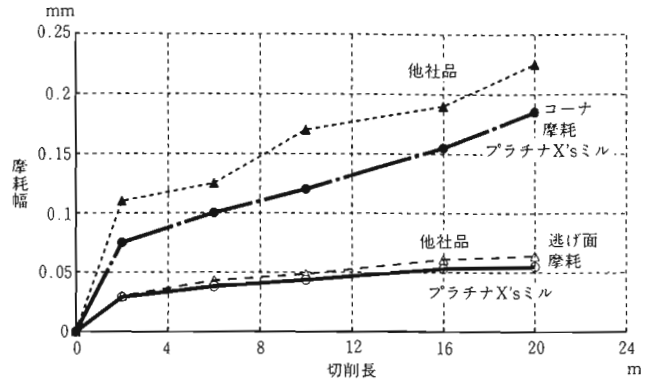
他社TiAlN品

図9 15m加工後（条件①）の刃先の損傷状態の比較



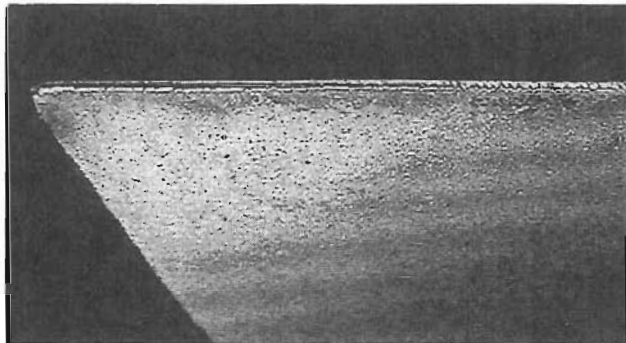
エンドミル：φ10mm 2枚刃 被削材：SKD61,40HRC  
 切削速度：V=50m/min 切り込み： $a_a=10\text{mm}$   $a_r=1.2\text{mm}$   
 送り速度：F=223mm/min(0.070mm/刃)ダウンカット、エアブロー

図10 中硬度材の切削性能

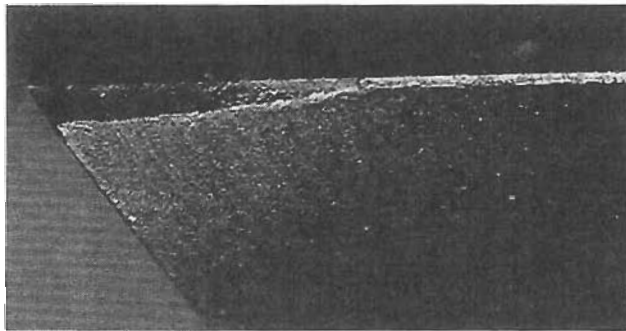


エンドミル：φ10mm 2枚刃 被削材：SKD61,52HRC  
 切削速度：V=314m/min 切り込み： $a_a=10\text{mm}$   $a_r=0.2\text{mm}$   
 送り速度：F=1,400mm/min(0.070mm/刃)ダウンカット、水溶性エマルジョン

図12 高硬度材の高速切削時の摩耗推移



プラチナX'sミル



他社TiAlN品

図11 24.5m加工時の刃先の損傷状態の比較

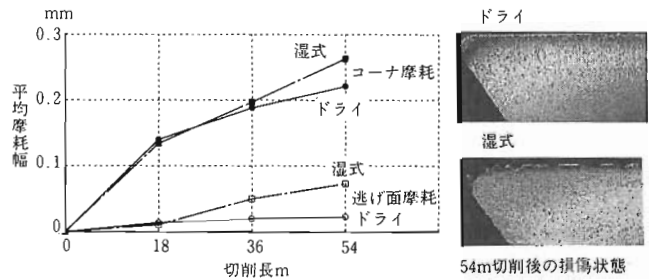
## 4.2 高速切削における切削性能

### 4.2.1 スクエア刃による高硬度金型材の切削

図12は、高速条件で高硬度金型材を加工をしたときの摩耗の推移である。切削長L=15m加工後の損傷状態を比較すると、コーナ摩耗幅は他社品の80%、逃げ面摩耗幅で90%と小さくまだ切削可能な状態にある。

### 4.2.2 スクエア刃による鋳鉄の切削

図13は、超高速条件下で鋳鉄を加工したときの摩耗の推移



エンドミル：φ12mm 4枚刃 被削材：FC3000,200HB  
 切削速度：V=565m/min 切り込み： $a_a=12\text{mm}$   $a_r=0.5\text{mm}$   
 送り速度：F=12,000mm/min(0.167mm/刃)ダウンカット

図13 鋳鉄の高速切削時の摩耗推移

である。ドライ（エアブロー）及び水溶性エマルジョンの2条件で、切削長L=54mを加工した。ドライ切削では、火花を出しながらの加工であったが、損傷は湿式切削よりもむしろ小さく、耐熱性に優れた新コーティングの性能が発揮されたといえる。

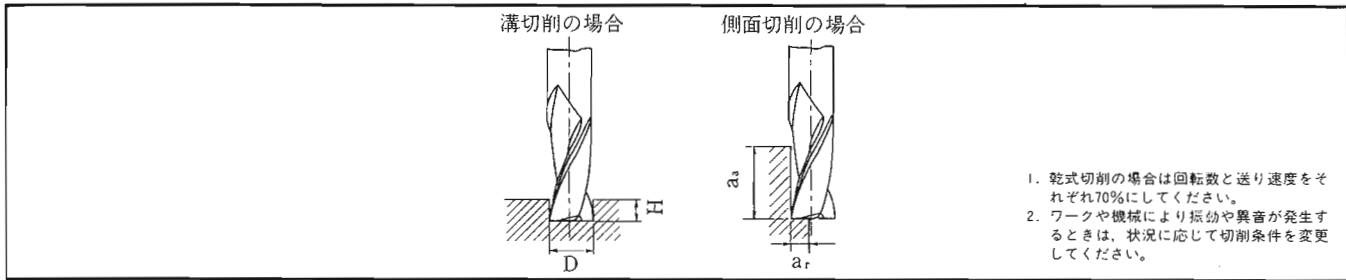
### 4.2.3 ボール刃による炭素鋼の切削

図14は、炭素鋼を高速切削したときの損傷状態の比較である。

切削条件①、②とも切削長L=100mまで連続加工し、ボール刃の損傷状態を比較した。切削条件①では、最大摩耗幅（ボール境界部）は、プラチナX'sミルボールの0.09mmに対し、他社品は0.17mmと約2倍である。切削条件②では、プラチナX'sミルボールの最大摩耗幅0.18mmに対し他社品は0.39mmと2倍以上の差がでた。

プラチナX'sミルボールは、汎用条件から、超高速条件まで非常に安定した切削が可能である。

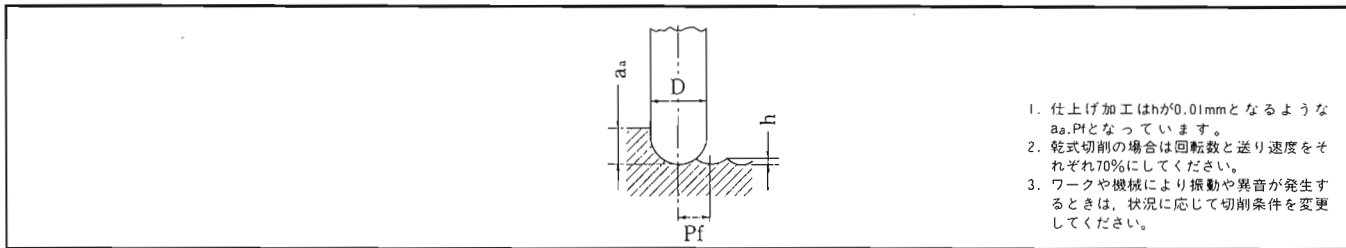
表3 基準切削条件表



1. 乾式切削の場合は回転数と送り速度をそれぞれ70%にしてください。
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ください。

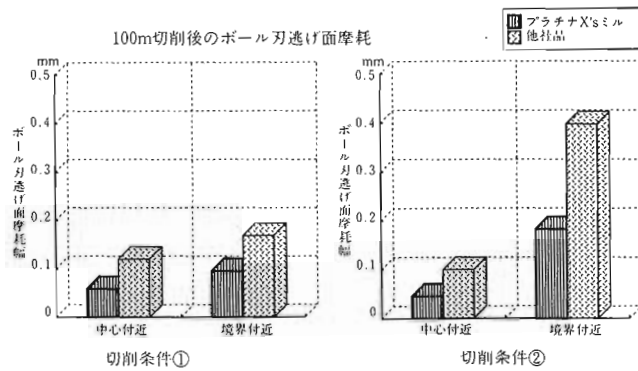
適用 エンドミル	被削材 切削条件	高硬度焼入れ材 55~60 HRC		高硬度材 45~55 HRC		中硬度材 合金鋼, ダイス鋼 35~45 HRC		低硬度材 炭素鋼, 合金鋼 35 HRC以下		ステンレス鋼 SUS304, SUS316		耐熱合金 チタン合金		鋳鉄 FC, FCD			
		外径 (mm)	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	回転数 min <sup>-1</sup>	送り速度 mm/min	
			1	2	3	5	8	10	12	15	20	1	2	3	5	8	10
1 プラチナ X's ミル 2枚刃		1	6400	25	9500	50	15900	95	25500	205	11100	70	8000	40	25500	255	
		2	3200	32	4800	60	8000	130	12700	255	5600	80	4000	50	12700	305	
		3	2100	32	3200	75	5300	190	8500	330	3700	100	2700	65	8500	510	
		5	1300	40	1900	105	3200	225	5100	380	2200	100	1600	65	5100	610	
		6	1100	40	1600	115	2700	225	4200	380	1900	100	1300	65	4200	610	
		8	800	40	1200	125	2000	225	3200	380	1400	100	1000	65	3200	610	
		10	640	40	1000	130	1600	225	2500	380	1100	100	800	65	2500	600	
		12	530	40	800	125	1300	220	2100	380	930	100	660	65	2100	600	
		15	420	32	640	75	1100	200	1700	330	740	90	530	55	1700	510	
		20	320	25	480	60	800	130	1300	260	560	80	400	50	1300	415	
	基準	aa	1 D		1 D		1.5 D		1.5 D		1.5 D		1 D		1.5 D		
	切込	ar	0.02 D		0.05 D		0.2 D		0.35 D		0.2 D		0.1 D		0.25 D		
	み置	H	0.02 D		0.05 D		0.3 D		0.5 D		0.3 D		0.1 D		0.5 D		

2 プラチナ X's ミル 4枚刃		1	6400	35	9500	75	15900	140	25500	300	11100	105	8000	60	25500	380
		2	3200	50	4800	90	8000	195	12700	380	5600	120	4000	75	12700	460
		3	2100	50	3200	110	5300	290	8500	500	3700	150	2700	100	8500	765
		5	1300	60	1900	155	3200	340	5100	570	2200	150	1600	100	5100	920
		6	1100	60	1600	170	2700	340	4200	570	1900	150	1300	100	4200	920
		8	800	60	1200	190	2000	340	3200	570	1400	150	1000	100	3200	920
		10	640	60	1000	195	1600	340	2500	570	1100	150	800	100	2500	900
		12	530	60	800	190	1300	330	2100	570	930	150	660	100	2100	900
		15	420	50	640	110	1100	300	1700	570	740	135	530	80	1700	765
		20	320	35	480	90	800	195	1300	390	560	120	400	75	1300	620
	基準	aa	1 D		1 D		1.5 D		1.5 D		1.5 D		1 D		1.5 D	
	切込	ar	0.02 D		0.05 D		0.2 D		0.35 D		0.2 D		0.1 D		0.25 D	



1. 仕上げ加工はhが0.01mmとなるようなaa, Pfとなっています。
2. 乾式切削の場合は回転数と送り速度をそれぞれ70%にしてください。
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ください。

適用 エンドミル	加工 区分	ボール 半径 (mm)	被削材 切削条件		高硬度材 45~55 HRC		中硬度材 合金鋼, ダイス鋼 35~45 HRC		低硬度材 炭素鋼, 合金鋼 35 HRC以下		ステンレス鋼 SUS304, SUS316		耐熱合金 チタン合金		鋳鉄 FC, FCD		
			切込 み置	aa	Pf	回転数	送り速度	回転数	送り速度	回転数	送り速度	回転数	送り速度	回転数	送り速度	回転数	送り速度
						min <sup>-1</sup>	mm/min	min <sup>-1</sup>	mm/min	min <sup>-1</sup>	mm/min	min <sup>-1</sup>	mm/min	min <sup>-1</sup>	mm/min	min <sup>-1</sup>	mm/min
1 プラチナ X's ミル ボール	仕上げ 加工	R1	0.2	0.3	5300	105	10600	340	15900	570	8000	160	5300	95	17200	620	
		R2	0.2	0.4	3200	155	7300	585	11000	880	6400	305	4600	185	12800	1000	
		R3	0.4	0.5	1900	180	4300	620	6400	920	3700	355	2700	210	7400	1050	
		R5	0.5	0.6	1300	220	2900	755	4400	1150	2600	440	1800	215	5100	1300	
		R8	0.5	0.8	1000	255	2300	885	3400	1300	2000	510	1400	270	4000	1550	
		R10	0.5	0.9	890	250	2000	880	3100	1350	1800	505	1300	310	3600	1600	
		R12.5	0.5	1.0	800	220	1800	900	2700	1200	1600	440	1100	305	3200	1450	
	荒加工	R1	0.8	0.8	荒加工には不向き		5700	115	9700	235	荒加工には不向き		荒加工には不向き		10600	300	
		R2	1.6	1.6	荒加工には不向き		3200	190	5300	295	荒加工には不向き		荒加工には不向き		5700	365	
		R3	2.4	2.4	荒加工には不向き		2200	210	3500	335	荒加工には不向き		荒加工には不向き		3800	410	
		R5	4.0	4.0	荒加工には不向き		1300	220	2100	355	SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		2300	460	
		R8	6.4	6.4	荒加工には不向き		810	180	1300	335	SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		1400	450	
		R10	8.0	8.0	荒加工には不向き		650	155	1100	285	SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		1100	395	
		R12.5	10.0	10.0	荒加工には不向き		520	115	840	230	SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		SG-FAXエンドミルボールを推奨します。		910	365	



エンドミル：R5mm 2枚刃  
 回転数：①15,000min<sup>-1</sup> ②25,000min<sup>-1</sup>  
 送り速度：①F=1,500mm/min(0.05mm/刃) ②F=2,500mm/min(0.05mm/刃)  
 被削材：S50C、200HB  
 切り込み： $a_a=0.63\text{mm}$   $P_f=0.2\text{mm}$   
 ダウンカット、水溶性エマルジョン

	境界付近	中心付近
プラチナX'sミル		
他社品		

図14 炭素鋼の高速切削時の損傷状態比較(写真は条件②)

### 4.3 基準切削条件

表3にプラチナX'sミル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ミルシリーズは、中・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り、金型のみがき工程の縮減、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寄与できる工具である。是非お試しください。

### 文献

(1) 堀、釣谷：不二越技報，52(1) (1996)