

高生産性ドライカットホブ切り加工システム

High Productivity Dry Hobbing System

工作機械事業部 東川 隆英^{*1} 西村 幸久^{*2}
中村 容造^{*3}

従来のホブ加工は切削油剤を使用しているが、作業環境・地球環境の両面の改善をねらって、ドライカット化が強く望まれている。ドライカットを実現するためには、切削油剤なしで加工ができる工具（ホブ）、及び切削油剤なしで切りくずを機外に排出できる工作機械（ホブ盤）の両方を開発する必要がある。そこで、独自の組成のTiAlNコーティングを施したドライカット用ハイス製ホブとドライカット対応ホブ盤を開発し、世界で初めてドライカットホブ加工を可能とした。環境改善が図れるだけでなく、切削速度2倍、工具寿命5倍、切削油剤設備が不要になることによる電力費削減51%等の効果があり、その結果、加工コストが約34%低減できる。

Conventional hobbing requires a coolant, whose use complicates the work process and whose disposal endangers the environment. Dry hobbing requires a hob that can be used without coolant and a hobbing machine that discharges chips. We developed a hob of high-speed steel having a proprietary TiAlN coating and a dry hobbing machine to realize hobbing that is environmentally friendly and cuts total hobbing cost 34%, doubles cutting speed, extends tool life 5 times, and reduces electricity cost 51%.

1. まえがき

現在、加工現場で最も問題視されているものの1つが、工具の潤滑・冷却のために使用されている切削油剤である。切削油剤は作業環境の悪化のみならず、地球環境悪化の問題を発生させる。さらに、ここで取上げる代表的な歯切り加工であるホブ切り加工では、水溶性切削油剤ではなく不水溶性切削油剤が用いられるため、火災の原因ともなり、安全上の問題が加わる。このような背景の下、切削油剤を使わない（以下、ドライカットと称す）ホブ加工技術の開発が強く望まれている。これまでに超硬製のホブを用いたドライカットホブ切り加工技術については、多くのメーカーが開発に取組んできたが、高価格であることに加え、突発的なチッピングの発生により安定した生産ができず、実生産ラインでは広く採用されていない状況にある。

2. 切削油剤の問題点

従来から、切削油剤は工場内の油汚れを発生させるとともに、作業環境悪化の要因とされている。さらに、最近では地球環境面への悪影響が問題視されている。すなわち、廃油焼却時に切削油剤中の塩素が原因となってダイオキシン、酸性雨などを発生させる。環境に対する取組みが進んでいる欧州では切削油剤関連費用が加工費の15~30%を占める⁽¹⁾とされており、我が国でも、切削油剤関連費用が加工コストをますます圧迫するようになると予想される。

ドライカット化すると、以上の問題点が解消されるだけでなく、切削油剤費が不要になり、かつ切削油剤循環系、ミストコレクタ等の電気代も必要なくなり、これらコスト面の利点も生じる。

3. ドライカットをねらった技術

近年ドライカットをねらった各種技術が報告されている。例えば、切削油剤に替えて-30°Cの空気を加工部にかける冷風加工⁽²⁾や1時間に数ccの切削油剤をミスト化して噴霧する極微量クーラ

ント加工⁽³⁾等があり、旋削、エンドミル加工や研削等一部においては実用化されつつある。切削油剤に植物性油を用いて無公害化の工夫をしている例もある。

ここで紹介するドライカットホブ加工は、特別な装置を一切使用することなく完全ドライカットを実現したものである。

4. ドライカットの課題

ドライカットを実現するための課題は、下記のとおりである。

- (1) 切削油剤なしで安定した工具寿命が実現できるホブの開発
- (2) 切削油剤なしで切りくずを迅速に機外へ排出できるホブ盤の開発

以上、ホブとホブ盤の両方が開発できて、初めて切削油剤を一切使わない完全なドライカットが実現できる。これら2つの課題を解決するために、工具と工作機械の同時開発を行った。

5. ドライカット用ハイス製ホブの開発

5.1 従来のハイス製ホブによるドライカット

ドライカット用ハイス製ホブの開発に取組んだ際に、最初に行ったのが従来のウェットカット用ハイス製ホブによるドライカットである。ワーク諸元、ホブ諸元、加工条件は表1に示すとおりである。切削速度は従来の切削油剤を用いる加工（以下、ウェットカットと称す）では通常100m/min程度であるが、ここでは2倍の200m/minとしている。ホブは、ハイス製母材にTiCNをPVDコーティングしたものである。

図1にノーシフトで少数（26個）のワークを加工した後のホブの摩耗状況を示す。左側の逃げ面が大きく摩耗して、既に寿命をすぎており実用にはならない。

TiNをPVDコーティングしたホブも、ほぼ同様の結果であった。

5.2 ドライカット用ハイス製ホブ

開発したドライカット用ハイス製ホブは、耐熱性・耐摩耗性に優れた独自の組成のTiAlN膜を、耐摩耗性を改善したハイス製母

*1 技術部要素技術開発課長

*2 技術部要素技術開発課

*3 技術部工具設計課

表1 テスト条件
Condition of test hobbing

ワーク諸元	モジュール	2.25
	歯数	49
	ねじれ角	21.5°
	歯たけ	6.5 mm
	歯幅	40 mm
	材質	SCM 415
ホブ諸元	硬度	HB 170
	外径	φ 75 mm
	口数	3
加工条件	刃溝数	16
	切削速度	200 m/min
	送り	2.4 mm/rev.
	切削法	同巻きクライム

表2 スーパードライホブの適用例
Application of super dry hob

ワーク	切削速度	工具寿命
自動車用ミッションギヤ 	100→200m/min (44.9→29.9 s)	600→3 200個 (5.3倍)
自動車用ミッションギヤ 	90→200m/min (47.4→31.2 s)	400→2 320個 (5.8倍)



図1 従来ホブによるドライカット後の摩耗
従来ホブでノーシフトで26個加工した後の摩耗状況を示す。左歯面に異常摩耗が発生している。
Conventional hob after dry hobbing



図2 スーパードライホブによるドライカット後の摩耗
スーパードライホブでノーシフトで26個加工した後の摩耗状況を示す。摩耗はほとんど見られない。
Super dry hob after dry hobbing

材にPVDコーティングしたものであり，“スーパードライホブ”と称している。

このホブを用いて、表1の条件で加工した後の摩耗状況を図2に示す。図1に示した従来のハイス製ホブと異なり、摩耗は認められない。

テストデータより、スーパードライホブの工具寿命を外挿して求めると、図3のとおりとなる。スーパードライホブのすくい面には、コーティングがついた状態である。図3には従来のウェットカットの工具寿命も併記した。ウェットカット用ホブのコーティング膜はTiNであり、一般的な使用状況とするためすくい面コーティングなしでの逃げ面摩耗量0.1 mmとなるまでの切削距離のデータとした。代表的な歯材であるSCM 415, SCM 420, SCr 420共に、スーパードライホブでドライカットすると、従来のウェットカットに比べて切削速度が2倍の200 m/minで、工具寿命が約5倍になると推定される。

本結果を確認するため、実生産ラインで評価した。その結果を表2に示す。切削速度は従来の約2倍の200 m/minとしており、

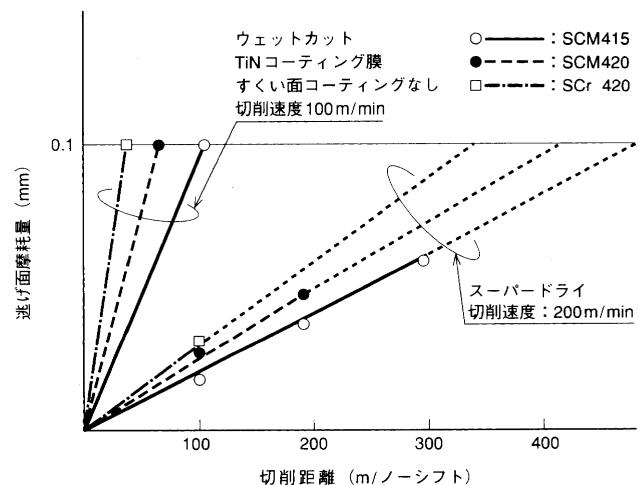


図3 スーパードライホブの工具寿命
スーパードライホブ(すくい面コーティング付)は、従来ホブ(すくい面コーティングなし)に対し切削速度2倍、寿命5倍である。
Tool life of super dry hob

前記推定値どおり工具寿命は5倍を超えることが実証された。

また、加工精度については、加工面にはむしれなどなく、従来のウェットカットと同等以上の精度で仕上っている。

これまでの結果はすくい面にコーティング膜がある場合であり、この状態を保つためにはホブを刃付けした後、リコートイングする必要がある。

当社ではリコートイングの技術を確立済みであり、リコートイングすることにより切削速度2倍、工具寿命5倍の高性能を引き發揮する。なお、刃付け後にリコートイングせず、すくい面にコーティングがない状態で使っても、切削速度は従来のウェットカットと同一の条件では工具寿命は3倍以上となり、従来ウェットカットを大きくしのぐ性能を発揮する。

5.3 ドライカットが可能な理由

当社独自のTiAlNをコーティングすると、ハイス製ホブがウェットカットより高い切削速度のドライカットに耐えられるようになる理由は、以下に示すTiAlNの特性が一部関与していると考える。

図4に示すのは、TiN膜とTiAlN膜の高温酸化試験の結果である。

試験は、大気中、800°Cで5hの加熱を行った。TiNは膜のほぼ全域が酸化され、Ti酸化物(TiO_2)に変質している。それに対し、TiAlNは表面からわずかの深さしか酸化されず、それ以外は変質せずにTiAlNのままでありその性質を維持している。表面はAl酸化物(Al_2O_3)になっている。この結果より、TiN膜はドライカットを行うと硬度が低い TiO_2 に変質してしまうため、すぐ摩耗する。それに対して、当社のTiAlN膜は独自の組成を有し、高速でドライカットを行うことにより表面が酸化され Al_2O_3 になる。 Al_2O_3 は高温で硬さが下らない特徴を有している。この Al_2O_3 はCVDのみでコーティング可能であるが、このコーティングではPVDで同様の効果が得られる。また、酸化は表面のみでとどまって内部まで酸化されず、密着力は維持される。その結果、ドライカットで高い耐摩耗性を示すものと推測する。

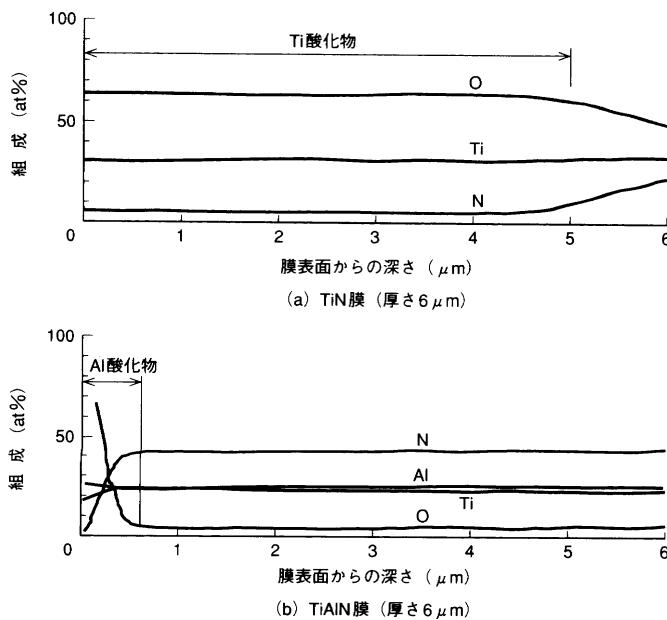


図4 コーティング膜の高温酸化試験結果 大気中、800°Cで5h保持後のTiN、TiAlN膜の組成を示す。
Result of high temperature oxidizing test

6. ドライカット用ホブ盤の開発

6.1 従来のホブ盤の問題点

従来のウェットカット用ホブ盤は立型が主流である。また、超硬製ホブを使ったドライカット対応ホブ盤も従来機の延長線上で立型であり、ベッド上に落ちた切りくずを機外に排出するため切削油剤によるフラッキングが必要である。

そこで、完全なドライカットを実現するために、ホブ盤の構造を抜本的に見直した。

6.2 ドライカット用ホブ盤

開発したドライカット用ホブ盤を図5に示す。構造を従来の立型から横型に変え、加工部の下側を大きく開けて、そこに切りくずを重力で落下させる。落下した箇所にはチップコンベヤがあり、切りくずは速やかに機外に排出される。

その結果、切削油剤を一切使わずに切りくず処理を行うことができる。また、熱い切りくずがベッドに触れないようにすることで、切りくずからの熱によるホブ盤の熱変形を最小限に抑えることができる。

図5から分かるとおり、横型は加工部の高さを立型より低く(1340→1150 mm)できるため、剛性面では基本的に有利な構造である。しかし、切りくずの処理がスムーズに行えるよう加工部下側に大きな開口部を設けるため、ベッド剛性の十分な検討が必要であった。剛性解析は、有限要素法を行った。また、ベッド以外の各部の剛性解析も行って、従来の立型ホブ盤より高剛性のドライカット用ホブ盤を完成させた。

ホブ盤は各種大きさのワークに対応できるように3種類開発した。それらの仕様は表3に示すとおりである。

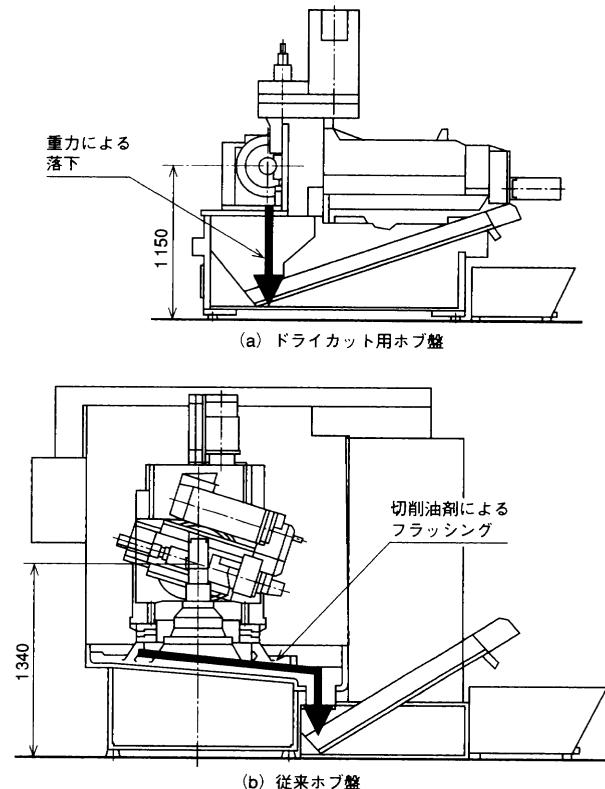


図5 ドライカット用ホブ盤と従来ホブ盤の切りくず処理の比較
ドライカット用ホブ盤は、切りくずを重力による落下で切削油剤なしで速やかに機外へ排出できる。
Comparison between dry hobbing machine and conventional machine

表3 ドライカットホブ盤仕様
Specification of dry hobbing machine

	GN 10 A	GN 20 A	GN 25 A
ワーク最大径 mm	100	200	250
加工最大 モジュール	4	6	8
ホブ最大直径 mm	70	110	150
ホブ回転数 min ⁻¹	300~3 000	200~2 000	200~2 000
テーブル最高 回転数 min ⁻¹	300	300	90
メインモータ馬力 kW	7.5	15	22

7. ドライカットの効果

スーパードライホブによるコスト低減額の試算例を図6に示す。工具の長寿命化、生産性向上、電力費削減ほかにより、34%のコスト低減が期待できる。最も一般的な自動車用トランスマッキン用歯車を加工する場合の消費エネルギーを従来のウェットカットと比較すると、37%低減となる。ウェットカットでは切りくず油循環用ポンプ以外にも、切りくずの持つ熱により温められた切削油剤を冷却するオイルコントローラ、油煙を回収するミストコレクタ等の切削油剤関連の設備があり、多くの電力が消費されていることが分かる。

また、切削油剤関連の設備が不要になったことにより、省スペース化が図れレイアウトを小さくすることができるのも利点である。

さらに、従来のウェット加工に比べ、切削能率が約2倍となり生産性向上が図れ、必要設備台数の低減が可能となる。

8. 実用化例

平成9年10月に、スーパードライホブとドライカット用ホブ盤を組合せた高生産性ドライカットシステムを世界で初めて発表して以来、多くのユーザから注目を浴び、既に国内外の実生産ラインで稼働している。

実用化に当っては、切りくず処理の問題と工作物の温度上昇が問題になることがあった。工作物の着脱を手付けで行い連続加工した場合には、工作物、ホブ共に温度上昇はほとんど認められず、オーバーボール径(OBD)の変化も少なく、C_p値(工程能力指数)は公差40 μmで3.067と良い結果が得られたが、ローディング装置使用の連続加工時には、OBDの変化が大きくまた切りくずのかみ込みが発生することがあった。そこでエアブローを強化し、切りくずの除去を積極的に行うこと、加工精度の安定化と切りくずかみ込みを解消し、工具寿命の延長を図ることができた。

9. まとめ

ハイス製ホブを用いたドライカット技術の開発に取組み、以下

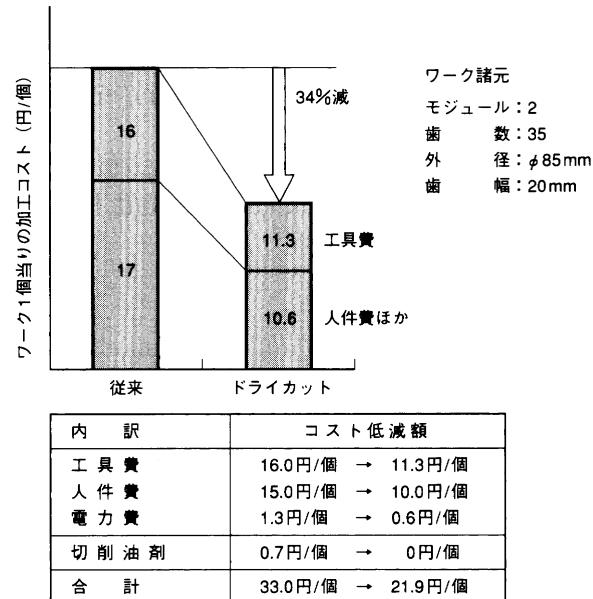


図6 ドライカットシステムによるコスト低減 コスト低減額の試算例を示す。工具の長寿命化、生産性向上により加工コストが約34%低減する。
Cost reduction by dry hobbing system

の結果を得た。

- (1) 独自のTiAlNコーティング膜と専用のハイス製母材を開発し、世界で初めてハイス製ホブ“スーパードライホブ”によるドライカットを実用化した。
 - (2) 切削油剤を使用することなく切りくずが処理できるドライカット用ホブ盤を開発した。
 - (3) スーパードライホブとドライカット用ホブ盤を組合せることにより、切削油剤を一切使用しないホブ切り加工が可能となり、作業環境改善を実現し地球環境改善に寄与できた。
 - (4) さらに、切削速度2倍、工具寿命5倍と生産性が大幅に高まった。
 - (5) 切削油剤設備が不要になることによる電力費削減51%等の効果があり、その結果加工コストが約34%低減できた。
- 以上の結果から、環境改善と加工コスト低減を両立するシステムとして開発ができたといえる。

参考文献

- (1) 横川和彦ほか, ISO 14000 取得のための冷風切削・研削技術, 機械技術 第45巻第8号 (1997) p.52
- (2) 本間宏之ほか, 公害防止のための研削油剤を用いないCBN冷風研削技術の研究, 精密工学会誌 第62巻第11号 (1996) p.1638
- (3) 佐藤潤幹ほか, 極微量切削液供給による旋削加工, 日本機械学会論文集 第62巻604号 (1996) p.4696