

たった一台、ツール一本で粗から仕上げまで
—高能率化を極めたデーゲン社の高速ホーニング盤—

1. はじめに

2010年、ドイツ・Grindtec 展示会にデーゲン社の「高速ホーニング盤 VISION Ultimate シリーズ (写真1)」が登場して以来、その革新的な加工法は徐々に認められてきた。通常3-4台必要とされるホーニング盤のプロセスを1台に集約した高速ホーニング (HSC-Honing) のコンセプトは、自動車部品製造業界で常に求められている高能率化に対するソリューションの一つとして注目され、ドイツ大手車体メーカー、サプライヤを始め、これまでに80台以上が世界に販売されている。特筆すべきは、リピート受注が多いことで、ある大手サプライヤは短期間に15台以上の設備をし、既存のホーニング盤と入れ替えている。また、嵌め合い精度を精密に仕上げるマッチホーニングや、自動化・省人化に貢献する機内測定・ロボット装置にも対応するなど、顧客の幅広いニーズに常に応え続けている。

本稿では、従来のホーニング加工における課題に対しデーゲン社の高速ホーニング技術でどのように解決するか、下記3つの観点から解説するとともに、昨今需要のあるマッチホーニング加工やとまり穴加工、2つの異なる径の同時加工など事例を紹介する。

1. リニアモータによる革新的な高速加工
2. 高速ホーニング用パテントホーニングツール



写真1：デーゲン社の高速ホーニング盤 VISION Ultimate SL 外観

3. 機内測定やロボットによる高精度自動運転

2. ドイツ デーゲン社 (Degen Maschinenbau GmbH) の概要

ドイツ南西部、自動車産業の中心都市のひとつシュトゥットガルトから南へ約1時間車を走らせるとデーゲン社の位置する町シェームベルク (Schömberg) が見えてくる。デーゲン社は1968年に工作機械メーカーとして創立され、今年で50周年を迎える。70年代はじめに精密平面研削盤の製造を開始して以来、切断機や深穴加工機などを製造販売してきた同社がホーニング盤の製造に乗り出したのは2009年とごく最近のことである。新しい商品の必要性を感じていたデーゲン社と、ドイツ主要ホーニング機メーカーに長年勤め、自身が開発してきた高速ホーニングの技術を用いた機械の製造先を探していたヘンツラー氏 (ホーニングデザイン社) が意気投合し、わずか1年後に高速ホーニング盤のプロトタイプが完成した。デーゲン社にはホーニングのノウハウが全くないことが逆に功を奏し、ヘンツラー氏のアイデアを素直に短時間で形にすることができたのだ。

3. 従来のホーニング盤における課題

従来のホーニング盤では、ホーニングツールが回転駆動しながら、加工される穴の長手方向に往復運動することで内面にクロスハッチが生成されるが、この回転数と往復速度は同期している必要がある。加工時間短縮の為に回転数を上げる手法は既に他の研削盤では取り入れられていた。しかし、ホーニング盤の場合、工具主軸に往復運動と回転運動のためのユニットやホーニングツールなどが搭載されている為、質量が大きくなる。精度を維持しながら、かつ振動を抑えつつ往復速度とそれに同期する回転数を上げるのには限界があった。よって高速での加工時間の短縮は難しいとされ、その他の高効率工法としてワンパスホーニングが登場した。それは穴にホーニングツールをたった1往復させるだけで加工が完了するという画期的な加工法ではある。しかし、穴径ごとに専用の治具の製作が必要になるだけでなく、現場で砥石張力や回転数を微調整する熟練の技術が必要となるなど、自動化や無人運転が難しいことが課題であった。一方、従来のホーニング加工のレシプロ式であれば自動化しやすいが、粗から仕上げまでに3-4本のスピンドルまたは3-4台の機械

が必要になる。しかも各工程間でゲージングも必要になる為、設置所要面積の確保に加え、工程管理は容易ではない。そこでデーゲン社では、上記の従来のホーニング盤における課題をふまえ、短時間加工かつ工程管理の少ない高精度自動運転を実現できる高速ホーニング盤を開発した。

4. 従来のホーニングとは異なるコンセプト「高速ホーニング」

4.1 高速ホーニングを生む機械構造

4.1.1 ワークヘッドをリニアモータで往復駆動

前項で述べたように、ホーニングを高速化することは工具ユニットの質量的に困難であったため、デーゲン社は回転と往復動作を工具主軸にさせるのではなく、工具主軸とワークヘッドとにそれぞれ役割をわけることにした。

VISION Ultimate シリーズはワークヘッドをリニアモータで駆動させ、ワークヘッドにクランプされたワークを高速往復運動させるというものである。工具主軸に比べて質量の小さいワークヘッド側をリニアモータ駆動にしたことで、振動の少ない滑らかな高加速が可能になった。毎秒 40 回のダブルストローク、100-400m/分まで速度を上げることができ、一般的なホーニング速度 30-60m/分と比べて圧倒的な往復速度を実現した。往復速度が非常に速い為、従来機に比べてホーニングツールの回転速度を上げることができ（スピンドル最大回転数 12,000 min^{-1} ）、結果として加工時間が大幅に短縮される。もちろん制御装置を搭載し往復速度と回転数は完全に同期されている為、高速であっても任意のクロスハッチは問題なく形成できる（写真 2）。



写真 2：高速ホーニングによるクロスハッチ模様

4.1.2 熱変位を抑制する機械構造

工具軸とワーク軸を同一線上のコラムに配置させ、両軸を同じ基準にしたことで、熱変位が抑制され、安定した加工精度が実現した。また高速加工による熱に対応する為、工具スピンドル内部にクーラント供給部が搭載されており、スピンドルとツールを介し冷却液が直接加工部に供給される為、



写真 3：工具主軸とホーニングツール

効率的に冷却が行われる。また精度に優れる油圧チャックを採用したことで、保持されたツールの振れが抑えられ、それによりツールの同心度が高くなり、工具寿命が長くなるというメリットもこのスピンドルは持っている。（写真 3）。

4.2 高速ホーニング用パテントホーニングツール

4.2.1 一本のツールでホーニング加工を完結

高速ホーニングには、高速回転と高速往復動作に加え独自のツールが不可欠である。高速ホーニング用に設計、最適化されたパテントホーニングツールが、粗から仕上げまでの加工に対応する。加工に用いるホーニングツールは一本に集約され、工程ごとのツールが不要になることに加え、工程間で発生する計測とハンドリング時間が無くなり、さらに加工時間を短縮できる。また、1台・1工程の加工になるので工程管理も簡素化でき、かつ省スペースも実現可能だ。

4.2.2 コストを削減するスリーブ式ホーニングツール

このホーニングツールは、高速ホーニング加工に合わせた構造になっているだけでなく、ツール管理におけるユーザーの課題を解決するべく開発されている。

一般的なホーニングツールの再生はユーザー側で対応できないため、ホーニング盤メーカーやツール専門業者に委託する手間とコストがかかっていた。しかしこの高速ホーニング盤には、従来のホーニングツールと全く異なるコンセプトを持つ独自のスリーブ式ツールが用いられる（写真4）。



写真4：革新的なホーニングツール

スロットを有する円筒形状と中心部の拡張機構を組み合わせるにより、加工される穴の寸法および形状を高精度に仕上げるのだが、このスリーブは再利用可能又は消耗品となり、ホーニングツールの委託再生を必要としない。ユーザー自身でホーニング砥石をスリーブごと簡単に交換でき、メーカーやツール再生業者にホーニングツールごと送り、砥石やガイドを交換することがなくなる。そのため、余分にホーニングツールを在庫として管理することも不要になる。ユーザーはツール本体でなく、スリーブを必要数余分に在庫しておくだけでよい。

またデーゲン社では、とまり穴専用ホーニングツールや二つの異なる径の同時ホーニングを可能にするツールなども取り揃えている。

4.3 機内測定とロボットで高精度・高能率加工をアシスト



写真5：ロードユニットと3つのステーション

本機であればホーニング盤に、測定やバリ取り用のス



写真6：機内測定ステーション（左）とバリ取りステーション（右）

テーションを搭載することができ、これらのプロセスを1台に集約可能だ（写真5、6）。この工程集約により、加工能率・生産性の向上だけでなく、省スペースにも貢献する。

測定ステーションに用いられるエアゲージは径方向 $0.1\mu\text{m}$ レベルの高精度な内径測定が可能で、通常内面3箇所を測定する。本機はストレートに内面を仕上げるように制御されており、エアゲージで測定されたワークの次のワークには、ねらいの内径諸元になるように自動で補正される。最初のワークについては補正が展開されない為、取り代を少なめにして、加工後に再びブランクカセットに置き、再加工する。このゲージング機能は、穴径に加え円筒度や真直度への補正も可能である。例えば内面中央が凸の場合、その凸部分の範囲を中心にワークが上下し、ホーニングされ、ストレート穴になるように補正される。内面入口、出口側が狭い場合は、その箇所が強めにホーニング加工される。

この機内測定に加え、パレットコンベアやロボットを搭載することで高精度無人自動運転が可能になる。ロボット装置は、例えば6軸ロボット装置を用いて任意形状のワークを検出し、機内に任意の手段によって移動、希望する場所に配置することが可能である。二つのホーニング盤の間にロボットを置き、両サイドで同じワークを加工すれば倍速でホーニング加工を行う事もできる（写真7）。

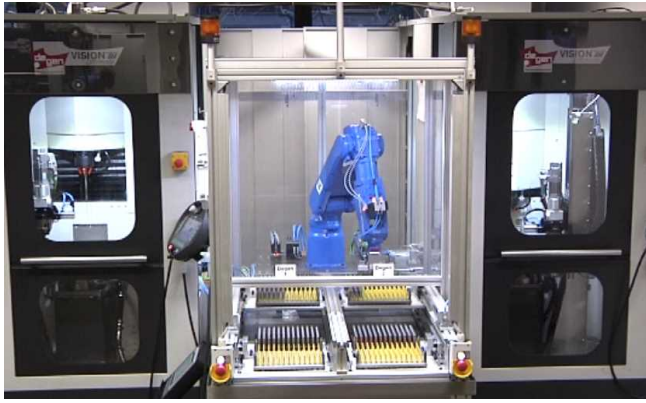


写真7：2つの機械の間に設置されたロボットによるローディング・アンローディング

4.4 マッチホーニング

ディーゼルエンジン系アプリケーションの加工で最近要望が多いのがマッチホーニングである。マッチング加工は、嵌め合い精度が厳しい場合、一方のワークを先に加工し、そのワークを基準にして相手側のワークを加工するものである。ディーゼルエンジンの高圧力化にとまらぬ、ピン(プランジャ)側もコーティングされているが、この膜厚はワークごとに異なり、ワーク間での精度のばらつきを抑えることが課題となっていた。そこでデーゲン社では、ピンをリング型のエアゲージに挿入し、ピンの外径を測定、その結果に合わせて相手ワークの内面を加工することで、両者間で一定のクリアランスを保持する。下記加工事例(写真8、第1表)。

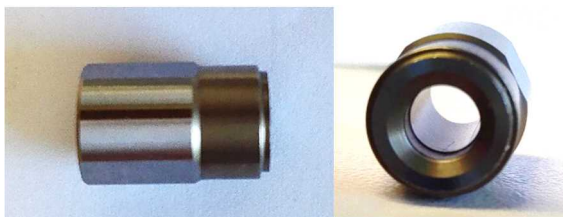


写真8:バルブ部品

アプリケーション：バルブ部品		
加工時間 15秒、取り代 10-15 μm		
ブランク	SUJ2高炭素鋼	
項目	要求精度	加工後
ホーニング径 mm	0.004 +0.003/-0.001	嵌め合い精度 2-3 μm
真円度 μm	0.8	< 0.6
並行度 μm	1	< 0.8
表面粗さ Ra μm	0.2	0.09

第1表：マッチホーニング加工結果表

5. 加工事例

特許技術を用いた特殊ホーニングツールを用いることでとまり穴や2つの異なる径の同時高速ホーニングが可能である。どのプロセスも一本のホーニングツールで加工を完結している。以下、加工事例を紹介する。

ワーク1：インジェクションポンプ（とまり穴）

材料：ニッケルクロム鋼18CrNi8／硬度HRC 58-62

加工時間：22秒

内径：∅ 17.88 mm ±0.005

取り代：∅ 20 μm

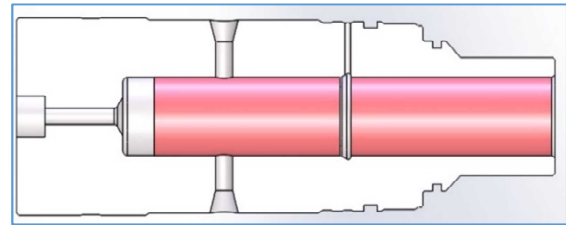
内径公差：5 μm

円筒度：1.4 μm

真円度：<0.25 μm

真直度：<1.2 μm

面粗さ：Ra 0.04 μm



第1図：加工事例 ワーク1

ワーク2：トランスミッション用バルブ

材料：快削鋼／11 SMnPb30／JIS SUML

加工時間：16秒

内径：∅ 5.75 + 6.95 mm

取り代：∅ 35 μm

内径公差：+/- 2 μm Cmk

真円度：<0.8 μm Cmk

平行度：<1.2 μm Cmk

真直度：<1.0 μm Cmk

同心度：<1.0 μm Cmk

面粗さ : <Rz 4 μ m Cmk

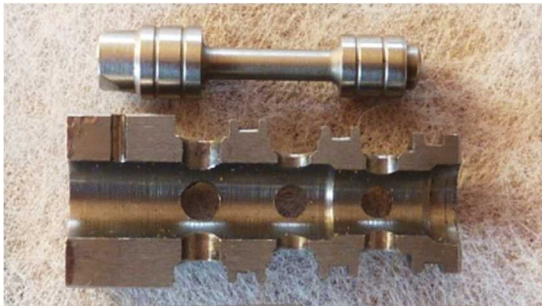


写真 9 : 加工事例 ワーク 2

ワーク 3 : ターボチャージャー向け軸受部品

材料 : 高強度銅合金スチール

加工時間 : 16 秒

内径 : \varnothing 7.00 mm

取り代 : \varnothing 30 μ m

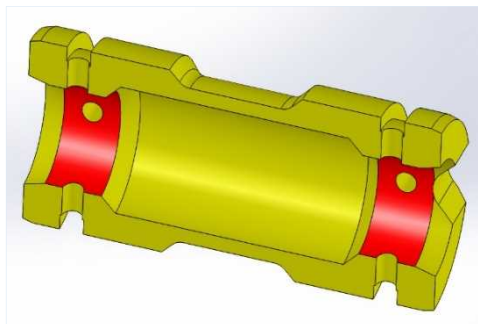
内径公差 : \pm 2 μ m

真円度 : <0.4 μ m

真直度 : <1.2 μ m

同軸度 : <2.0 μ m

潤滑性評価 : 0.15 - 0.6 Rk



第 2 図 : 加工事例 ワーク 3

ワーク 4 : ステップブッシュ

材料 : 硫黄複合快削鋼SUM24L / 硬度HRC 58-62

加工時間 : 16-18 秒

内径 : \varnothing 17.88 mm \pm 0.005

取り代 : \varnothing 12-20 μ m

内径公差 : 5 μ m

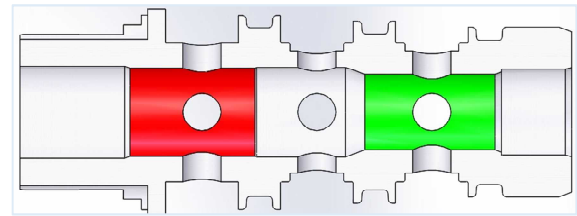
円筒度 : 1.4 μ m

真円度 : <0.4 μ m

真直度 : <1.2 μ m

同軸度 : <2 μ m

面粗さ : Rz <1.3 μ m



第 3 図 : 加工事例 ワーク 4

6. おわりに

デーゲン社高速ホーニング盤 VIVION Ultimate シリーズの特長を以下にまとめた。

1. リニアモータをワークヘッド側に搭載し、ワークを高速往復駆動させることにより、安定した連続高速ホーニング加工が可能。工具軸とワーク軸を同一線上のコラムに配置させ、同じ基準にすることで熱変位を抑制
2. 高速ホーニング用の独自ツール 1 本でホーニング加工を完結。1 台のホーニング盤で加工を完結できる為、工程管理を容易にし、省スペースかつ加工時間の短縮に貢献
3. スリーブ交換式ホーニングツールのおかげで、ユーザーがツールの交換を簡単に行う事が可能。余分なホーニングツールの在庫が不要となり、ツール管理が容易に。外部へのツール再生委託も不要
4. 機内測定およびバリ取りステーションに加え、ロボットを搭載することでプロセスを 1 台に集約し、長時間の高精度無人運転が可能
5. ピン外径を基準に穴内面を仕上げるマッチホーニングに対応し、高い嵌め合い精度を要求される部品の加工に対処
6. とまり穴のホーニング加工、異なる 2 つの径の同時ホーニング加工も、特許取得ホーニングツールで高精度かつ短時間に実現