

深穴φ0.43×L23.5mm、穴壁厚0.1mmのチタン合金部品をワンパス加工

—変種変量生産に応えるトラウプ・主軸移動型自動旋盤の複合加工能力—



1. はじめに

医療分野では、インプラントを中心とした医療機器や生体用部品において、優れた生体親和性や耐食性を持つチタン合金の需要や用途が拡大している。しかし、同材質は難削材として知られ、加工する機械や工具の適切な仕様の選択に加え、加工ノウハウも求められる。チタン合金は、塑性変形を起こす際の限界応力となる変形抵抗が大きいいため、快削鋼と比べ、主軸や回転工具の出力とトルクがより高い加工機を必要とする。特に、医療部品は微細な形状が多く、小径工具に対応した高い工具回転数が求められる。また、チタン合金は熱伝導率が小さく化学的な活性も強い上、加工熱が工具と被加工材に留まりやすい。高い切削温度による工具摩耗や刃先凝固が発生するため、加工機には通常より高圧のクーラント機能が不可欠となる。さらに、ヤング率が低いことから、びびり振動を誘発しやすく、薄肉のチタンの深穴加工では工程を分け、専用機でガンドリル加工をすることが一般的だ。これらの課題に加え、変種変量生産の医療部品に対し、「高い生産能力と柔軟性をもって一台の機械で加工を完結する」というコンセプトは理想的な加工方法として考えられている。上記背景の中、ドイツ・インデックス社（INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky）がリリースするブランド・トラウプ（TRAUB）の主軸移動型自動旋盤 TNL シリーズ（図 1）は、欧州の医療機器製造業界を中心に、

ディファクトスタンダードとして採用され続けている。本稿では、難削材複雑形状の医療部品に高効率の加工と優れた複合加工能力に応えるトラウプ・TNL シリーズを紹介する。

2. 主軸移動型自動旋盤の特長

主軸移動型自動旋盤（通称スイス式自動旋盤）は、バー材を保持する主軸台が長手 Z 方向に移動し加工する機械で、長尺部品の精密加工に適している。一般的に径に対し3倍以上の長さを持つワークは、加工負荷の影響でびびりやたわみが発生しやすい。主軸移動型自動旋盤では、ガイドブッシュがワークをサポートし、ガイドブッシュ付近で加工するため、高アスペクト比の長尺ワークでも高精度に仕上げることができる。医療部品は、長尺複雑形状であることが多く、スイス式自動旋盤の TNL シリーズは深穴加工、ミーリング加工の優れた機能を搭載し、主軸移動型複合加工機に位置付けられている（図 1）。



図 1：トラウプ・TNL シリーズ外観
（左から TNL12/TNL20/TNL32）

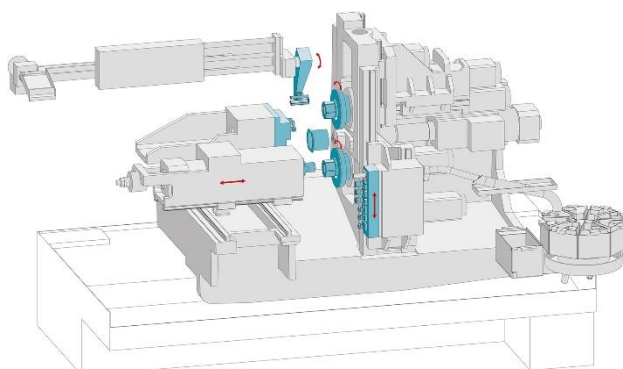


図 2 TNL12 の軸構造 CNC 直動 9 軸

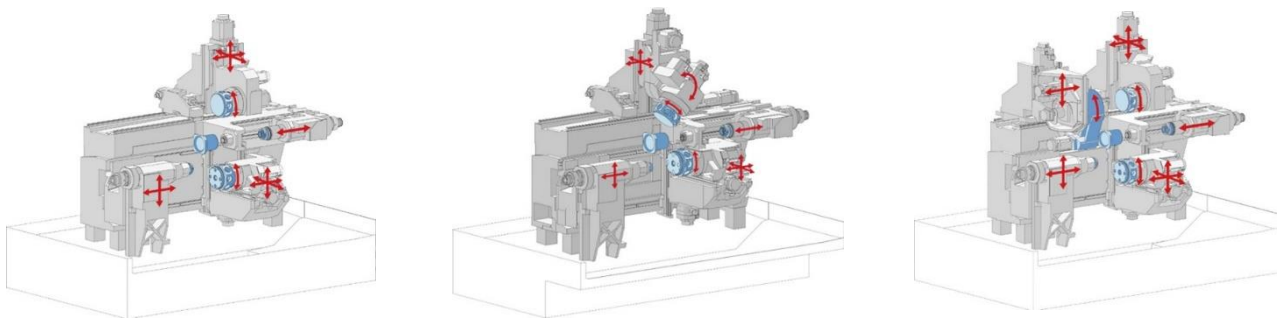


図 3 : TNL20 の軸構造 (左から-9 型/CNC 直動 9 軸、-9B 型/CNC 直動 9 軸+B 軸、-11 型/CNC 直動 11 軸)

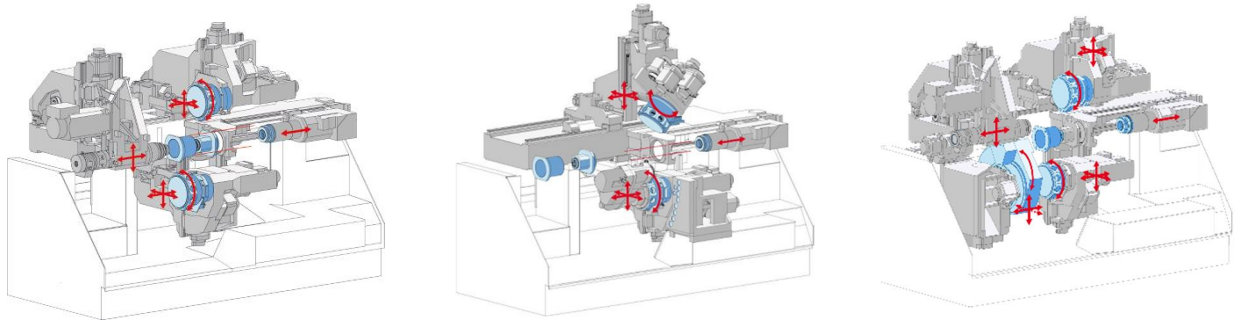


図 4 : TNL32 の軸構造 (左から-9 型/CNC 直動 9 軸、-7B 型/CNC 直動 7 軸+B 軸、-11 型/CNC 直動 11 軸)

3. ターゲット部品に応えるモジュール式機械設計 TNL シリーズ

トラウプ・TNL シリーズは、部品サイズや加工工程数、斜め穴の有無、深穴加工の必要性から、適切な機種と最適な仕様を選択するモジュール構造を採用している (図 2、3、4)。部品の形状に合わせて機械構成を選択することで、柔軟性を高め、変種変量生産においても、高いパフォーマンスで応えることができる。

3.1 TNL12

最大バー材径 $\phi 13\text{mm}$ 、主軸最大移動距離 130mm に対応。CNC 直動 9 軸、工具回転数 $12,000\text{min}^{-1}$ の Y 軸付きタレット 2 式を標準装備。正面・背面加工アタッチメントも搭載し、背面加工では Y 軸を利用した加工に対応する。各タレットに固定工具、及び回転工具を 12 本、合計最大 38 本の工具が利用できる。

3.1 TNL20

最大バー材径 $\phi 20\text{mm}$ 、主軸最大移動距離 205mm に対応。CNC 直動 9 軸または 11 軸、工具回転数 $12,000\text{min}^{-1}$ の Y 軸付きタレット 2 式を標準搭載し、 105° 旋回の B 軸の選択も可能である。正面・背面加工アタッチメントも選べ、どちらも Y 軸の加工に対応する。各タレットに固定工具 24 本、又は回転工具 16 本の合計最大 58 本の工具が利用できる。

3.2 TNL32

最大バー材径 $\phi 32\text{mm}$ 、主軸最大移動距離 305mm に対応。CNC 直動 7 軸、9 軸または 11 軸、工具回転数 $12,000\text{min}^{-1}$ の Y 軸付きタレット 2 式を標準搭載し、 100° 旋回の B 軸も選択も可能である。正面・背面加工アタッチメントも選べ、どちらも Y 軸の加工に対応する。各タレットに固定工具 30 本、又は回転工具 20 本の合計 68 本の工具が利用できる。

4. 同時加工・高出力・工程集約で高能率加工を実現

難削材のチタン合金に加え、複雑形状の医療部品

は、深穴加工、斜め穴加工、ミーリングといった様々な加工も必要であり、相対的に加工時間が長くなる傾向がある。TNL シリーズは、豊富な軸数を利用し、難削材においても卓越した同時加工能力と優れた切削能力でサイクルタイムを短縮することができる。加えて、ガンドリルをはじめ、高速ミーリング加工や高速ワーリング加工などの機能を集約し、複雑形状部品を一台の機械で全加工することで、生産性を高めることができる。

4.1 最大4箇所同時加工でサイクルタイムを短縮

TNL シリーズは、上下タレット、加工アタッチメントに十分な軸数を持たせることで個別制御の最大4箇所同時加工を実現する。最大バー材径 13 mm 対応の小型機 TNL12 の場合、正面側3箇所(外径 x2、内径)、背面側1箇所(内径)の合計4箇所を個別制御で同時加工することで、一般的な国産機と比べ、サイクルタイムの大幅な短縮が可能だ(図 5、6、7)。



図 5: 加工事例 1
 ワーク: チューリップヘッド用ねじ
 材料: チタン合金 60 種 / Ti-6Al-4V / バー材
 サイズ: $\phi 10 \times L23\text{mm}$
 加工時間: 370 秒

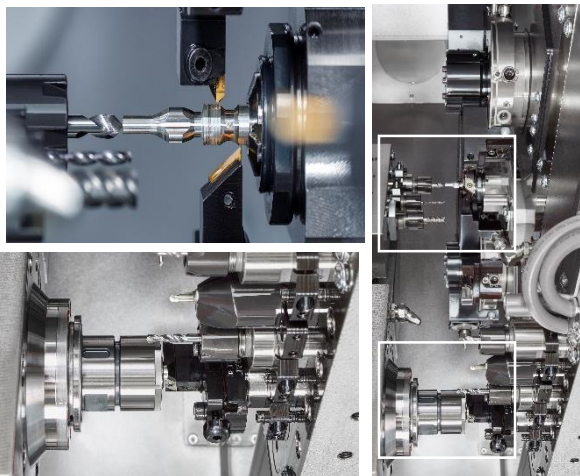


図 6: 正面 3/背面 1 箇所の合計 4 箇所の同時加工

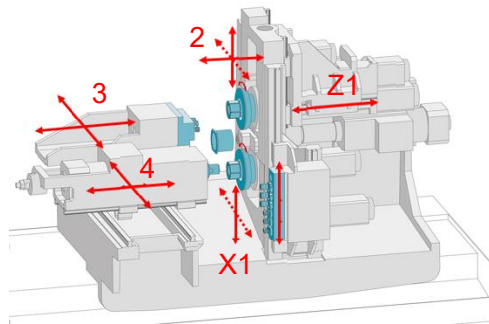
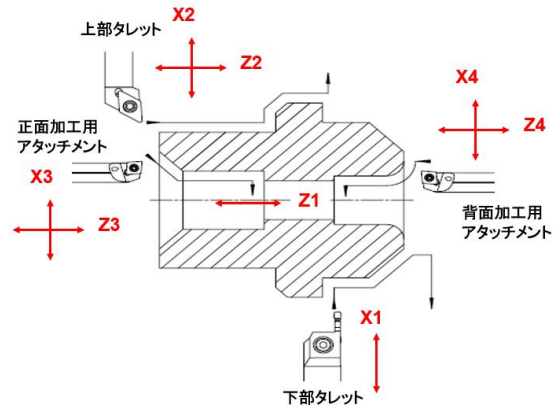


図 7: TNL12 4 箇所同時加工の様子

4.2 高出力の両主軸・回転工具が生む優れた加工能力

チタン合金は変形抵抗が大きいいため、主軸や回転工具にゆとりある出力が求められる。出力は 1 秒あたりに削られる切りくずの量と比例し、一般的なスイス式自動旋盤の主軸は 2~3kW 未満、背面主軸はそれより劣る 1kW 未満、回転工具 0.5~1kW の仕様が多数。TNL12 と 20 の背面主軸は、主軸同等の出力があり、回転工具の出力も高く(図 8)、2~3 倍の切りくず量を生成する能力を持ち、サイクルタイム短縮を実現する。

TNL シリーズ	主軸	背面主軸	回転工具
	出力 [kW]*	出力 [kW]*	出力 [kW]*
TNL12	4.4	4.4	2.1
TNL20	5.5	5.5	2.2
TNL32	10.7	5.5	3.4

図 8: TNL シリーズ出力 (*40%ED)

4.3 専用機に匹敵するガンドリル加工能力を内蔵

TNL シリーズのガンドリル加工能力は専用機に匹敵し、バー材からのワンチャック全加工により、圧倒的なサイクルタイム短縮を実現する(図9)。超音波手術器具のハンドピースは、深穴加工用の専用機を利用し、多工程の加工が一般的である。中空構造と超音波の固有振動に合せた形状が必要な為、スイス式自動旋盤による加工とガンドリル工程で一個あたり最低1時間以上の加工を要す。一方、TNL シリーズはワンクランプで全加工が可能となり、僅か6分程とサイクルタイムを劇的に短縮することができる。

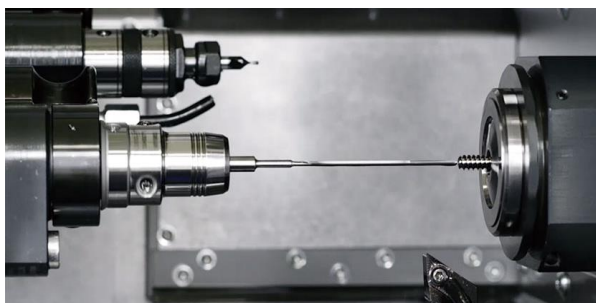


図9：小径ガンドリル加工

4.4 チタン合金に有効な高圧クーラント機能

チタン合金は加工熱が工具と被加工材に留まりやすいため、刃先凝固が発生しやすい。特に小径、深穴加工の場合、より高い冷却能力が求められる。 ϕ 1mm以下の深穴加工においては、TNLシリーズの深穴加工用ユニットが有効で、高アスペクト比の難削材の小径深穴加工を強力にサポートする。16Mpaの高圧クーラントを利用し、細い深穴でもチップ排出が可能で、ステップフィード不要のワンパス加工により、優れた加工面を得ることができる。加えて、刃先に確実にクーラント液が届くため、発熱しやすい難削材加工でも刃先凝固を防ぎ、工具摩耗を抑えることができる。また、主軸を回転させるだけでなく、ガンドリル自体を主軸に対し逆回転させることで、チタン合金で ϕ 0.43×L23.5mmのような小径深穴加工においても優れた真直性を実現する(図10)。



図10：加工事例2

ワーク：チタン合金医療用ニードル

材質：チタン合金60種/Ti-6Al-4V/バー材

サイズ：内径0.43 x L23.5mm、穴壁厚0.1mm

加工時間：390秒

4.5 最大回転数 50,000 min⁻¹による高速ミーリング能力

TNLシリーズのタレットの最大工具回転数は12,000min⁻¹を標準仕様になっているが、最大回転数50,000min⁻¹のクーラントスピンドルアタッチメントも選択できる。トルクス(六角星型のねじ規格)の様な微細形状で取り代が多い場合には、本クーラントスピンドルアタッチメントが特に有効である。クーラント液の圧力を利用する機構で、回転動力にギアやモータを使用しないため、振動が軽減され加工面の仕上がりも向上する(図11)。



図11：加工事例3

ワーク：ボーンスクリュー(2条ねじ、トルクスヘッド)

材質：チタン合金/バー材

サイズ： ϕ 9.58(最大)×L55.47mm

深穴内径： ϕ 2.0×L53.5mm

加工時間：約240秒

4.6 加工時間を半減する高速スレッドワーリング加工

チタン合金が多く使われる医療用ねじやボースクリューの加工では、精度と面粗さに優れる高速スレッドワーリングアタッチメントが生産性を押し上げ、品質を安定させる。多条ねじを従来の工法でワーリング加工する場合、旋削後、条数に応じたワーリングパスが必要になる。一方、高速スレッドワーリングでは、条数に合わせてインサートがセッティングされている。加工は、ワンパスで加工される為、2条ねじの場合サイクルタイムが半減する（図 12、13）。条数に応じてインサートを分けることで、工具寿命が長くなり、安定した連続加工にも繋がる。



図 12：加工事例 4

ワーク：医療用ねじ

材質：チタン合金 60 種 / Ti-6Al-4V / バー材

サイズ：φ10 x L60mm

加工時間：207 秒

（多条ねじ部の高速ワーリング加工時間 56 秒
／従来方式のワーリング加工 101 秒から短縮）

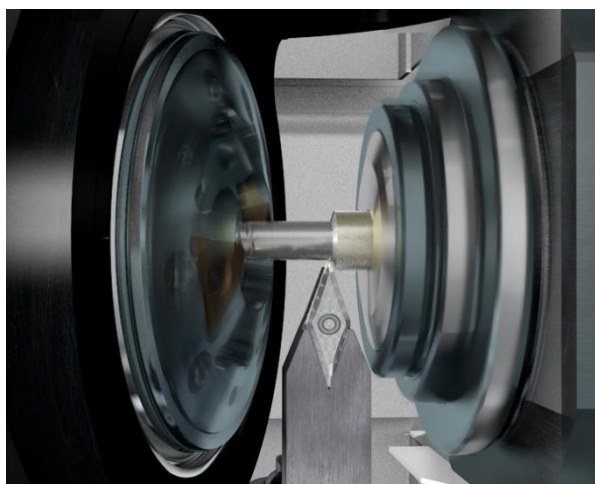


図 13：高速スレッドワーリング加工

5. 複雑形状に備えた高い自由度

複雑形状の医療部品の加工に応えるためには、TNL シリーズの豊富な工具搭載本数、Y 軸加工、タレットの B 軸回転機能が寄与する。

5.1 数値制御式タレットによる最大 68 本の工具が多彩な加工をアシスト

自動旋盤には、一般的に工具自動交換システムが内蔵されていない為、複雑形状部品の加工に応えるには、工具の搭載本数が重要となる。TNL シリーズでは、タレットの割出しを数値制御にすることで、タレットの各ステーションに、三頭式ツールホルダ（固定工具）3 本、二頭式ツールホルダ（回転工具）2 本を搭載できる（図 14）。大量の工具をセットすることで、複雑形状の部品の加工でも、工具交換の作業が不要となり、類似部品も段取り替えなく加工が行える。加えて、タレットの割出しが機械式ロックのない数値制御であることから、高速位置決めが可能で、チップ・ツー・チップ（タレット回転後に次の工具が旋削を開始するまで）の時間を 0.3 秒まで短縮した。タレットの高速割出しは、タレットや工具への切粉の巻き付きを低減し、加工時間を短縮するだけでなく、工具の破損を防止



図 14：面当たり 1~3 本の工具搭載可能な 10 面タレットで省スペースながら多彩な加工が可能（TNL32）

する。

5.2 旋回 B 軸と Y 軸機能で加工柔軟性を向上

TNL シリーズの全てのタレットは、ミーリング加工に不可欠な Y 軸を搭載し、複雑形状への対応力を備えている。さらに、加工用アタッチメントを利用した Y 軸加工が可能で、ガンドリル加工の正確な

位置決めにも活用される。斜め加工用の旋回 B 軸も有効で(図 15)、特に下記例(図 16、17)のような複雑形状のワークでは、任意の角度に工具を傾ける加工が必要だ。TNL20 と 32 では、タレットに B 軸旋回の仕様にする事で、特殊なツールホルダや工具を使用することなく、標準工具によるアプローチが可能になる。

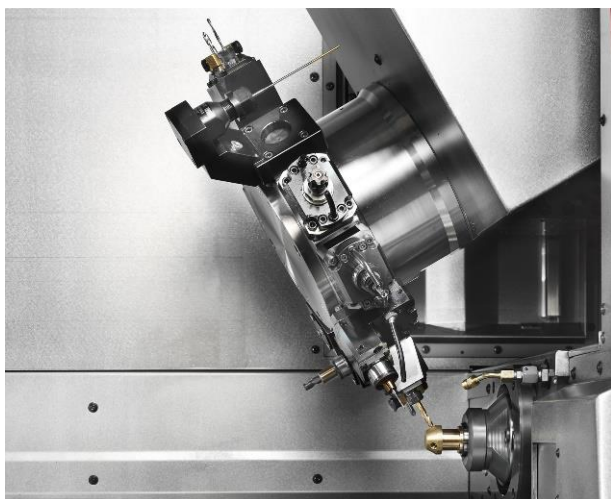


図 15 : 旋回 B 軸で加工の柔軟性が向上



図 16 : 加工事例 5

ワーク: カスタムアバットメント
 材料: チタン合金 60 種 / Ti-6Al-4V / バー材
 サイズ: $\phi 4 \times L8\text{mm}$
 加工時間: 300 秒



図 17 : 加工事例 6

ワーク: 単軸椎弓根スクリュー
 材質: チタン合金 60 種 / Ti-6Al-4V / バー材
 サイズ: $8 \times 70\text{mm}$
 加工時間: 490 秒

6. 変種変量生産に対応する稼働率向上システム

医療業界では、可用性が常に要求され、限られた生産設備でいかに製品のリードタイムを短縮するか

が問われている。機械稼働率をあげることは、市場からのニーズに合わせる変種変量生産の多い医療部品製造において肝要となる。

6.1 機外 PC を利用した加工プログラム作成兼シミュレーションソフトウェア

トラウプの WinFlexIPS は、コントローラと機外 PC に搭載できるソフトウェアである。機外 PC で事前に加工プログラムを作成・最適化し、3D シミュレーション上で干渉確認が可能である為、機上での確認作業を大幅に削減でき、機械のダウンタイムを低減する(図 18)。さらに機械が加工中であっても、機械 PC で追加工や補正プログラムを作成し、3D シミュレーションができる。内蔵されている CAM 機能を利用し、複雑な加工パスを外部の専用ソフトを利用せずに直接編集できる優れた作業性を有している。



図 18 : 事前干渉確認が可能

6.2 複雑なプログラミングを支えるソフトウェアパッケージ「ストリームライン (Stream Line)」

トラウプが用意する本ソフトウェアパッケージを用いれば、CAD/CAM なしでのプログラミングが可能で、作業者の負荷が軽減される(図 19)。加工パスや送りを自動で最適化する機能もあり、切粉の排出を一定に保つことができる。結果、工具寿命や面粗さの向上も同時に実現し、高速ミーリング能力を最大限に引き出してくれる。

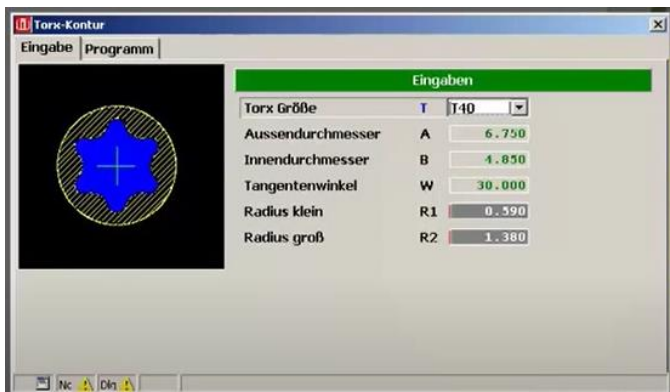


図 19: トルクスサイズ、加工条件を打ち込むだけでトルクス加工が設定可能

7. おわりに

トラウプ・TNL シリーズは、長尺部品に適した主軸移動型自動旋盤に、高い生産性と豊富な加工機能が加わった複合加工機である。最大 4 箇所同時加工が可能で、深穴・多条ネジ・トルクスといった複雑形状の加工において有用性が高く、変種変量の難削材医療部品においても高い生産数に応える。

以上