



HEIDENHAIN

02/2012

# Klartext *Aerospace*

航太工業中的海德漢控制器

精確度與精準度的實際控制技術

## TNC 控制器之下的 三點著陸



準備起飛

# 使用海德漢控制器： 準備迎向航太工業的新挑戰

編者的話

在此 Klartext 的第一個特殊問題中，專用於航太主題，我們將賦予您有關航太工業製程中所面臨問題及其解決方案之見解。

這種工業的需求已經相當高了，目前還在持續上升中。所需要的就是生產精確度與精準度。由於現代技術「德國製」，現在比以前更能夠達到這種平衡行為。海德漢提供的所有解決方案有何共通點？提高效率、操作上對使用者友善並且確定技術可靠。

如此讓我們帶領您來一趟文字之旅，告訴您解決速度與細節精確度、尺寸精確度與加工精準度的衝突目標之可能性。

此議題也聚焦在操作期間支援處理可靠度的功能。尤其是在耗時的加工操作上，例如航太工業，可靠的策略相當重要，可避免問題複雜化。

在我們的現場報導中，您將了解如何使用 iTNC 530 生產風洞模型。工具機專家 Deharde GmbH 將其工具機配備海德漢控制器，獲得非常精準的結果。

因此請欣賞有趣的「航太」主題，Klartext 的第一個特殊議題。

Klartext 全體員工敬上！



#### 照片提供者

Deharde GmbH：第 8 頁、第 9 頁

iStockphoto：第 1、2 頁底部、第 3 頁底部、第 4 頁頂端、第 6、7、10 頁

Stock.XCHN：第 8 頁頂端所有其他影像  
所有其他照片

© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH



## 目錄

### 高速近淨形製造

HSC 銑削期間 iTNC 530 用於高輪廓精確度

4

### 尺寸精確度容許自動化

KinematicsComp 與 KinematicsOpt 大幅提高工具機精確度

6

### 精確到每個細節 – 航太工程的 CNC 製造

使用 iTNC 530 製造的風洞模型

8

### 迅速並可靠地生產第一個優良工件

處理可靠度的功能

10

#### 出版者

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH  
Postfach 1260  
83292 Traunreut, Germany  
電話：+49 (8669) 31-0  
海德漢網站：  
[www.heidenhain.de](http://www.heidenhain.de)

#### 編輯者

Frank Muthmann  
電子郵件：[info@heidenhain.de](mailto:info@heidenhain.de)  
Klartext 的網際網路位址：  
[www.heidenhain.de/klartext](http://www.heidenhain.de/klartext)

#### 編輯與版面配置

Expert Communication  
Richard-Reitzner-Allee 1  
85540 Haar, Germany  
電話：+49 (89) 666375-0  
電子郵件：[info@expert-communication.de](mailto:info@expert-communication.de)  
[www.expert-communication.de](http://www.expert-communication.de)

## HSC 銑削期間 TNC 控制器用於高輪廓精確度 高速近淨形製造

近淨形生產要盡可能將許多處理步驟自動化，並且免除重新加工的需求。同時，支援 HSC 操作來縮短加工循環，這會造成加工時間、表面品質與外形精準度之間發生衝突。航太工業範例顯示控制器必須滿足哪些需求，以達到效率與精確度之間的平衡。

### 壓縮機葉片：複雜的 5 軸加工

噴射發動機的葉片運用 5 軸加工，為了最大限度降低或甚至完全避免重新加工，表面光滑度與外形精準度必須維持在特別高的水準。通常，像是葉片這類自由曲面都由 CAD/CAM 系統製作。最終加工程式由許多直線單節構成，這些直線單節為實際輪廓的近似值，不可避免會導致偏差，這尤其適用於定義方向變化的程式順序。甚至在工具機與控制器組合的操作非常精準時，若無進一步量測，表面上還是會發生輪廓偏差。CAM 刀具程式輸

出的精確度或解析度不足，會造成非所要的跳躍，然後在完成的表面上出現切面。

刀具快速逆向移動屬於其他問題。快速變換方向發生在葉片的窄端，在此線性軸要有較大的補償動作。這造成兩種挑戰：在一方面，高耐熱材料內的切削條件要維持恆等，與動態機械動作甚至是折返點無關。在另一方面，突然的動作會導致工具機震動，造成不精準。恰巧根據高進給速率的 HSC 加工最會受到這些問題影響，是高表面光滑度與外形精準度的阻礙。

**真正的平衡就是調和  
速度與精確度。**

### 強力動作控制：確保高表面 光滑度

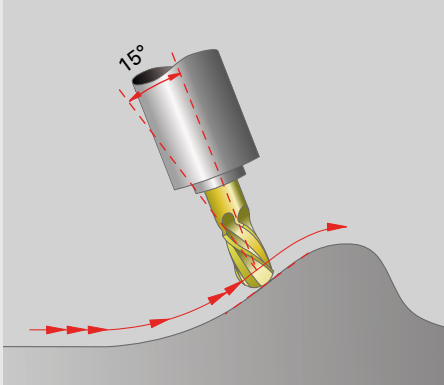
讓我們回到製程開始：在 CAD/CAM 系統建立的加工程式中，許多直線單節之間的轉換成為一項特定挑戰。類似 iTNC 530 這類強大的控制器會自動圓滑單節轉換，讓刀具以等速度通過工件表面。控制器確實讓相當高進給速率要與非常精準的刀具導引協調。

輪廓自動平滑化即會造成與輪廓有某種程度的偏差。在自由曲面上，在最糟的情況下，來自 CAD 模型外形的偏差由已定義的輪廓容許誤差以及 CAM 系統內定義的弦偏差之總合所構成。最後，工件上的結果也取決於工具機的總特性，以及針對抖動與進給軸加速調整之值。這就是為何操作員必須能夠輕鬆並且直接影響加工速度與容許誤差之間關係的緣故。在 iTNC 530 上的循環程式內，操作員可根據應用需求，輸入可容許輪廓偏差的指定值。

結論：若加工程式是由 CAD/CAM 系統建立，TNC 控制器透過其單節平滑化能力，確保高表面光滑度。

噴射發動機的壓縮機葉片—iTNC 精準的刀具導引，確保高表面光滑度。





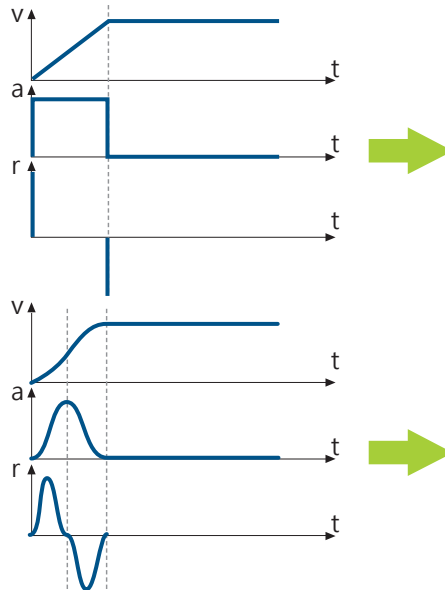
iTNC 運用 TCPM，確保沿著輪廓引導刀具。

## 傑出的輪廓精確度：5軸的複雜動作控制

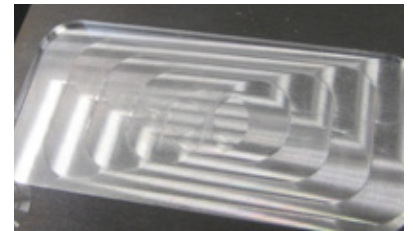
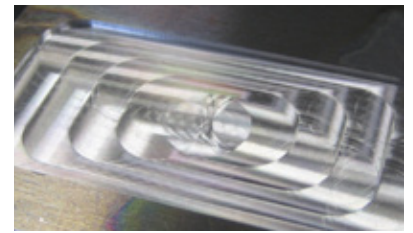
這使得在刀具移動期間方向快速改變以及由此產生的補償動作，這又可導致其他偏差。對此的解決方案之一為 TCPM，就是「刀具中心點管理」功能。在五軸加工當中，刀具一定與工件表面垂直或不同的指定角度，因此 TNC 包括工具機外型與刀長的補償，以及 3-D 刀徑補償。

此引導刀具點的功能可根據曲率變化，強迫大型補償移動，造成非常高的軸進給速率。最終抖動導致工具機顯著震動，並且後續發生路徑偏差。iTNC 530 動作控制的作用在於讓抖動平順化，這確保即使路徑突然改變，並不會超出輪廓容許誤差設定。在此情況下，操作員可用選擇的容許誤差值，影響加工時間。

結論：TNC 的路徑控制確保高輪廓精確度、避免輪廓受損並且支援等切削條件。



v = 速率 · a = 加速度 · r = 抖動 · t = 時間



差異如下：  
iTNC 530 的抖動限制避免表面損傷。

## 輪廓口袋加工：高表面光滑度、無重新加工

支援的結構，例如框架，具有複雜的輪廓口袋圖案。口袋內的表面必須具有優異的光滑度，否則就必須重新加工，因為稍後施加的塗層不得因為不均勻的表面而過高。

TNC 將抖動平順化，避免動作突然改變而在表面上留下記號。如此免除了許多口袋都會面臨非常耗時的重新加工作業。

## 明顯的好處：使用者友善結合完美的 HSC 技術

TNC 控制器可讓操作員輕鬆將精巧的 HSC 操作最佳化。淺顯易懂的對話框以及實用的循環程式，用於影響加工處理的精準度，例如藉由簡單輸入容許誤差。

最新的前饋控制以及強大的動作控制，讓加工時間最佳化並且具有最好的表面光滑度，同時維持一致定義的精確度。甚至在由 CAM 系統所產生程式內加工點分布變化極大之下也可行。

海德漢控制器的技術優點幫助避免最耗費成本的最佳化階段，迅速產生第一個優良的工件。

# KinematicsComp 與 KinematicsOpt 大幅提高工具機精確度 尺寸精確度容許自動化

超大型工件的生產為航太工業固有的挑戰，因為飛機組裝時必須裝配在一起的裝配零件之生產散佈在許多地方，所以裝配的精確度扮演決定性的角色。只有在此前提之下，生產自動化才有可能，並且可避免手動重新加工。

裝配精確度要求相關工件的尺寸精確度。由許多不同組件構成的組件，例如起落架，必須能夠非常精準的裝在一起。組裝時，框架(飛機機身或機翼內的肋骨架)上的鑽孔必須完美對齊。

大型工件的精準 5 軸加工，同時確定其尺寸精確度是一項挑戰，尤其是在大型工具機上。長距離移動以及大移動質量，都會導致相當大的偏差。

另外還有其他誤差來源：例如 ISO 230-1 指出線性軸上六個可能的組件誤差。誤差來源包括定位誤差、滾轉、俯仰與偏向以及角度誤差。

但是這還不止：軸也可能飄移，導因於工具機組件內溫度分布不一致，這在直線移動(轉換)以及旋轉動作(轉動)的形式中會突顯出來。

因此問題來了，要如何管理這些誤差呢？

## 管理偏差：體積補償

海德漢提供有效的協助：iTNC 530 的 KinematicsComp 功能可讓工具機製造商，將工具機的各种誤差說明儲存在控制器內。在座標結構配置模型中，製造商說明工具機的自由度以及旋轉軸的位置。

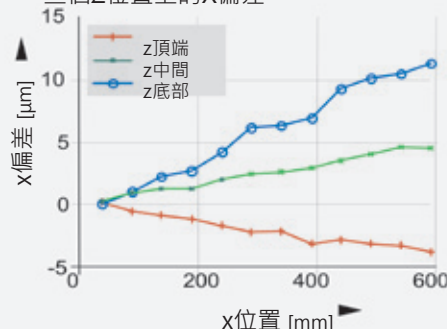
若無 KinematicsComp，則只能定義工具機的標稱幾何。現在，所有軸的實際行為都可整合在此原始座標結構配置模型內。

KinematicsComp 也可用於說明位置專屬溫度補償。從固定在工具機上代表位置的許多溫度感測器接收資料。某些需要隔離這些誤差的量測方法已經用於量測工具機的校正，例如：雷射追蹤儀系統，可非常精準量測刀尖的空間誤差，能夠用於這種工作。但是 iTNC 530 也具備許多功能，例如 KinematicsOpt，可讓工具機製造商補償特定現有的機械誤差。

無補償



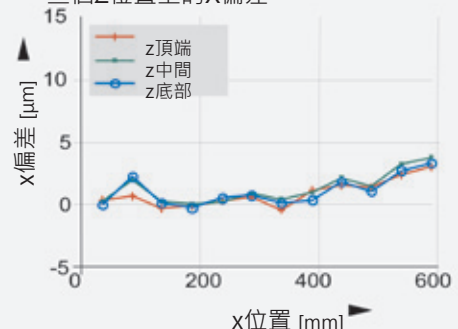
三個Z位置上的X偏差



含體積補償



三個Z位置上的X偏差



該項比較顯示體積補償讓工具機更精準。

## 管理熱誤差：重新校正適用於廠區

工具機的座標結構配置可隨溫度變化以及機械負載的結果而變，但是實際的座標結構配置就不再與控制器內儲存的座標結構配置模型吻合。因此讓完成的工件不精確。這正是 KinematicsOpt 發揮作用：若加工期間工具機隨著溫度誤差結果而

變，則工具機的座標結構配置模型也必須調整，而不是修改 NC 程式。因為海德漢把重新校正變簡單了，所以可每天執行：KinematicsOpt 軟體為 TNC 的接觸式探針循環程式，讓旋轉軸的檢查或重新校正容易又實在。工具機操作員只要幾分鐘就可執行循環程式。

經常使用 KinematicsOpt 校正，保證高生產品質。工具機能夠更精確沿著程式編輯輪廓移動刀具。KinematicsOpt 確保即時經過長時間還是能夠產生一致的精確度。補償直接影響工具機本身的精確度，因此影響各工件的精確度。有一個好的影響為可節省可觀的時間，因為幾乎不需要再次從頭完整校正工具機。



精準並且零件自動生產可降低組裝成本。

## 快速與簡單重新校正： KinematicsOpt 如何運作

3-D 接觸式探針循環程式使用已插入的海德漢接觸式探針，全自動量測工具機上存在的旋轉軸。與該軸為旋轉工作台、傾斜工作台或旋座頭無關。

為了量測旋轉軸，校正球固定在工具機工作台上，並且以海德漢接觸式探針來探測。但是要先定義量測解析度，並且將要量測的範圍定義

給每個旋轉軸。TNC 運用測量值計算靜態傾斜精確度。軟體將傾斜動作造成的空間誤差降至最低，在測量程序結束上，將補償值自動儲存在座標結構配置表的個別工具機常數中。當然，廣泛的記錄檔中也儲存實際量測值以及量測與最佳化的散佈(量測靜態傾斜精確度)，加上實際補償值。

## 偏差與飄移的補償： 針對非常高的精確度 與精準度

### 結論

運用 KinematicsComp 與 KinematicsOpt 功能，符合航太工業所面臨的精確度與精準度成長需求。這甚至得到雙重回報：廠區適用的誤差補償與重新校正確保高尺寸精確度，並且可自動化生產工件，而不是在飛機組裝期間還必須修改裝配零件。零件不需要手動重新加工，節省時間與金錢。

使用 iTNC 530 製造的風洞模型

# 精確到每個細節 – 航太工程的 CNC 製造

最高精準度等級以及避免出現廢料為 Deharde Maschinenbau Helmut Hoffmann 公司的最終極目標，尤其是因為航太工程公司為此工具機專家的客戶。Deharde 依靠配備海德漢控制器的工具機，生產風洞模型、廠房設備以及許多其他不同零件。

iTNC 530 不僅是因為新機投資，也是因為廠房內的機台為了延長壽命而檢修，因而獲選。

這樣的優勢在於 Deharde 的所有生產員工都可操作到所有工具機。更進一步，這排除了轉換成其他種控制器期間，程式內會發生錯誤的可能性。

「在每個工作步驟中加入的價值非常巨大，而在生產期間的容許誤差非常嚴苛，這就是為何任何偏差或廢棄都是極為昂貴的原因。」Deharde 營運經理 Klaus Gerken 解釋道。若需要，公司可保證在超過

2500 mm 的距離之後，輪廓的容許誤差為  $\pm 0.015$  mm、角度的容許誤差為  $\pm 0.01^\circ$  並且位置的容許誤差為  $\pm 0.02$  mm。「一天花費在風洞 – 根據真實比例飛機模型，量測作用在個別飛機零件上的氣流屬性與力量之處 – 的費用高達五位數，這就是為何每個用於量測氣流的精密鑽孔都必須 100% 正確的原因。另外，更換模型零件，例如噴射發動機或機身整流罩的許多輪廓變化，或不同形狀零件來調整著陸時使用的襟翼，都可以在不耗費任何時間之下進行。」Deharde 工程經理 Tobias Schwarz 所說明，對於成品零件的極高需求。

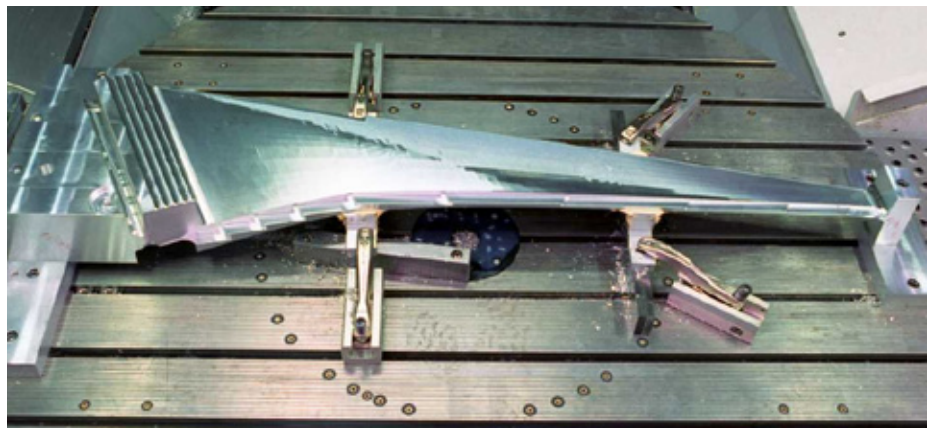
## 根據 CATIA V5 與 Edgecam 進行程式編輯

十人設計小組依照客戶的指定需求作業，使用 CATIA V5 製作 3-D 模型，並經過客戶審核。在下一個步驟中，五位程式設計師其中之一

使用 CATIA V5 或 Edgecam 撰寫 CNC 程式，稍後傳輸至工具機上的海德漢控制器。Deharde 甚至採取特殊預防措施：為了安全因素，「飛行零件」，即是之後會用於空中或太空旅行的零件之程式，都無法在工具機上編輯。任何必要的變更都只能由生產規劃與程式編輯專員進行。

而對於所有其他零件，生產員工可直接在工具機上修正程式，並且在某些情況下甚至可輸入新的程式段。「我發現將整個加工循環程式，例如用於面銑、傾斜或搪孔銑削的循環程式，都儲存在 iTNC 530 內特別有用，這些循環程式經常需要，我只需給秒就可輸入完畢。」Deharde 生產員工 Stephan Coquille 如此說道。iTNC 530 配備快速並且方便的編輯器，可在工具機上執行程式編輯。

飛機機翼的風洞模型最多可由 800 個零件構成。





「海德漢控制器讓我們具備最大彈性，因此我們的客戶也擁有最大彈性。」

Deharde 營運經理 Klaus Gerken 說道



## 令人印象深刻的額外功能

為了獲得工具機在品質與加工時間上的最佳優勢，Deharde 運用 KinematicsOpt 與 AFC(可適化進給控制)功能。

KinematicsOpt 為直接整合到 iTNC 530 的軟體選項，其消除旋轉軸因為熱效應的偏差，並且補償其飄移。這就是操作員能夠使用 KinematicsOpt 自己重新校正銑床上旋轉軸的方式，相關量測處理只需要幾分鐘。「平均來說，我們用這種方式校正某些工具機，一個禮拜一次，而對於容許誤差非常嚴格的零件，也在每次作業之前使用此功能。」Deharde 加工經理 Dietmar Warns 表示道。

可適化進給控制(AFC)根據個別主軸功率以及操作員定義的限制值，自動調節進給速率。這可顯著縮短加工時間，尤其是對於尺寸與材

料強度方面有本質上並且顯著變化的鑄件。可適化進給控制確保在整個工作步驟期間，主軸功率都恆定維持在程式編輯的位準上。例如：Deharde 使用 AFC 進行鈦與鋁工件的加工，粗估大約縮短 5% 的粗抽時間。「我們認為非常重要的優點就是，若進給速率低至最低定義值以下，工具機會自動中斷程式，這通常是刀具已經變鈍的跡象。因此我們可避免因為刀具斷裂所造成昂貴的工件與工具機受損。」營運經理 Klaus Gerken 說道。

## 展望未來

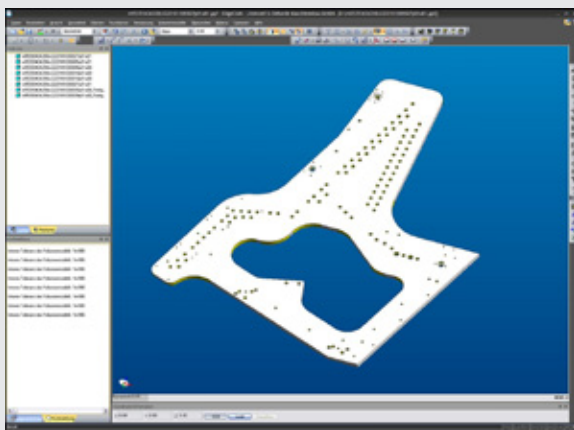
已經在公司廠區內的老舊機器要經過檢修，以便延長使用壽命並且用 iTNC 530 翻新。Deharde 甚至已經訂購含海德漢控制器，配備四個可交換工作台的全新五軸銑削中心機。「這讓我們具備最大彈性，因此我們的客戶也擁有最大彈性。」

Klaus Gerken 強調道。這些控制器都使用第三方量測軟體，這些接觸式探針與軟體都用於全自動量測工件，並且產生量測記錄。「透過標準介面將軟體連接至 iTNC 530 並無問題。」規劃與生產經理 Thomas Oltmanns 附加說道。針對下一個步驟，Deharde 計畫設置量測程式，如此可介入 CNC 程式，並且自動修正。Deharde 的目標為具備高自動化生產的銑削中心機。

## 成果一瞥

Deharde Maschinenbau Helmut Hoffmann 公司運用海德漢 iTNC 530 控制器，從下列優點當中獲得利益：

- 生產期間非常高的精準度
- 消除廢料
- 透過乙太網路迅速並且無誤地將 CNC 程式傳輸至工具機
- 選擇性的 KinematicsOpt 功能消除了旋轉軸偏差並且補償其飄移
- 選擇性的可適化進給控制(AFC)功能自動調整輪廓進給速率

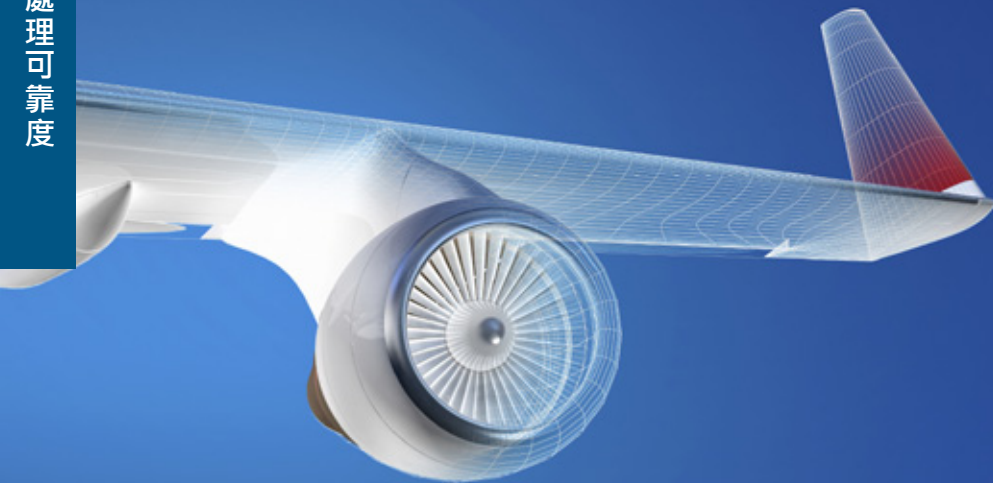


許多工作步驟之一：  
依照特定客戶需求建造 3-D 模型。

處理可靠度的功能

# 迅速並可靠地生產第一個優良工件

處理可靠度



從 CAD/CAM 系統到第一個優良工件的道路上必須克服許多障礙：試、修改加工程式以及參數最佳化，這全都要耗費時間並且產生額外成本。必須避免在工件實際加工期間中斷，或至少要最大限度減少。尤其是在耗時的加工操作上，例如航太工業，需要有效的策略，以避免問題複雜化。

## 自動程式建立有其限制

使用 CAD/CAM 系統建立複雜操作的加工程式，此時通常需要測試與最佳化，以便達到所需的精確度以及表面光滑度。不過，CAD/CAM 系統後置處理器通常不會完美設置用於控制與加工的實際行為。直到第一測試零件生產出來之後，實際結果才會明顯，這也包括改變工具機設定。

造成後續必須最佳化的一般挑戰為，加工程式內所產生的加工點分布不均，這在自由曲面的往前/往後銑削期間特別受注目，並且在最糟的情況下會導致表面上有可見的瑕疵。

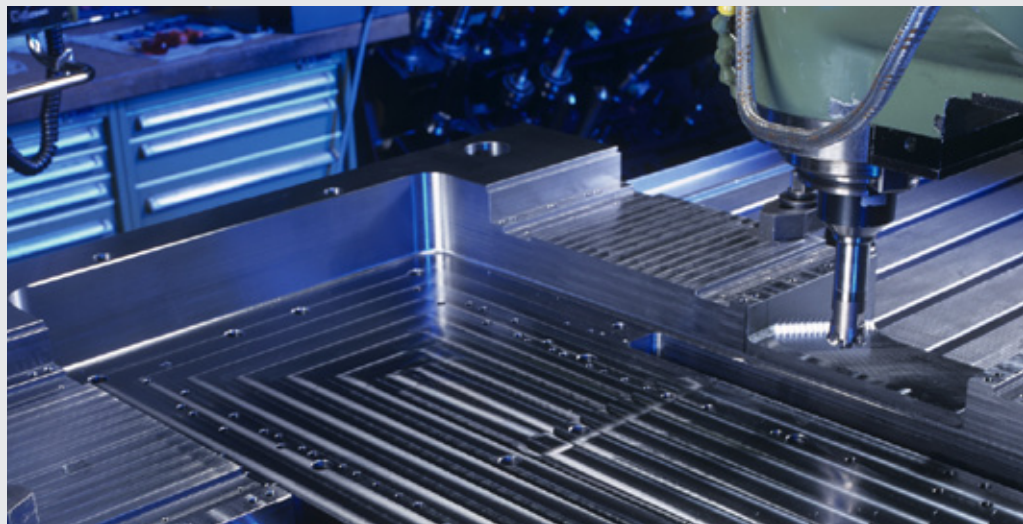
大型與非常複雜的工件需要更久的加工時間，這特別適用於航太工業越來越常使用的高耐熱材料，例如鈦。

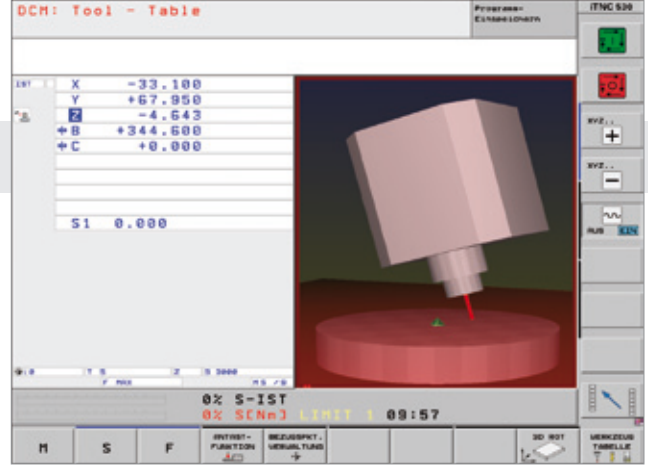
這增加了無人操作製造的願望。當然，必須避免中斷這種無人操作的情況。並且若真的發生，必須能夠迅速反應。

若自動產生的程式使用複雜的五軸控制功能，則因為無法在外部模擬系統內再生控制器的功能，所以無法總是事先完美模擬控制器的實際行為。如此，加工程式與參數必須調整。

這對於就在控制器上直接製作的加工程式進行最後變更與最佳化來說相當正常，根據編輯器，變更複雜的加工程式已經變成非常耗時的事情，並且甚至可能引發錯誤。

優良並且可靠的結果！海德漢確保最高處理安全性，尤其是針對耗時的操作。





動態碰撞監控(DCM)包括實際夾持位置以及來自刀具表的補償值，即使在手動移動期間。

## 堅持底限： 避免中斷加工處理

iTNC 530 這類海德漢控制器具有在功能上確保處理可靠度的策略，海德漢控制器通過硬體與軟體穩定度的考驗，其高度可用性就是一個決定因素。針對延伸工件加工期間經常發生的問題，可採取避免措施：

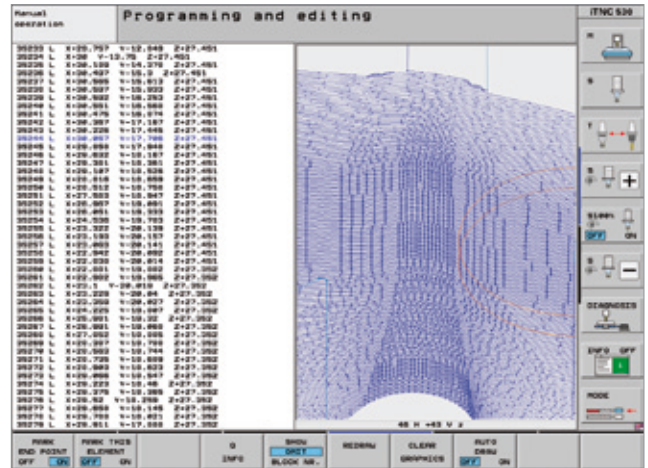
不僅在個別定義的刀具壽命之後能夠自動插入替換刀具，當然在不重要的位置上，換刀也可取決於自動量測的刀具磨損。

在複雜與同時五軸加工期間，iTNC 530 非常有效降低工具機工作環面內刀具、治具與永久工具機組件間之碰撞。海德漢控制器運用動態碰撞監控(DCM)功能監控所有移動，並且在可能發生碰撞時，即時發出警告。在設定時或程式中斷時，此即時防護也有效，例如若工具機操作員手動移動軸時。

工具機總是有停擺的時候，所以必須要有快速並且可靠的反應。因此，iTNC 530 可透過文字訊息立即通知工具機操作員或維修技師，以便將任何延遲降至最低。

跳脫功能可讓 TNC 在 NC 程式停止時完全自動從工件退刀，即使是傾斜軸也一樣，不會損壞刀具或工件。此安全功能甚至在電源供應中斷時還能發揮作用。

iTNC 530 的許多功能都將 CAD/CAM 系統產生的程式最佳化，有些程式非常龐大。



## 可靠程式產生的功能

海德漢控制器的明顯優勢在於對不平均的加工點分布並不在乎，此加工點分布會隨工件大幅變動，所以無法事先精準決定。iTNC 530 具備強大的動作控制，確保精準的輪廓，不管來自哪個 CAD/CAM 系統並且由哪個後置處理器產生這些程式。這樣容易切換工件，甚至在短時間內，並不需要對工具機設定進行特定變更，因此也不需要最佳化。

CAM 系統所建立的程式都儲存在控制器的硬碟內，這樣存取程式更快並且比較不複雜，例如直接在控制器上用其 3-D 線條圖形進行最後模擬。邏輯與結構完善的編輯器使其可直接在工具機上輕鬆修改程式，甚至是大型程式—必要時可進行任何變更。

## 提高工具機可用性： 虛擬加工縮短執行週期。

複雜加工處理的模擬可用提高每小時速率方式，顯著縮短工具機的執行週期。所有強力 CAM 系統都可進行模擬，但是仍舊無法達到 100% 可靠。為什麼呢？其一，強大的後置處理器將額外定位單節插入產生的 NC 程式內。另外，模擬系統無法再生複雜的五軸控制功能。

這就是 virtualTNC 能夠提供協助的地方，virtualTNC 為 iTNC 530 的原始控制核心，可透過介面整合在任何模擬系統內。使用 virtualTNC 虛擬執行 NC 程式，確實顯示真實工具機所執行的那些動作，自然包括複雜的五軸功能。如此必然會補償已模擬程式在真實工具機上執行時發生之動作或逆向移動。此方式產生的加工程式可用更快速並且更可靠的方式建立。



**HEIDENHAIN**

## Getting ahead of the crowd by exploiting tolerances?

People who make use of permissible tolerances when taking a path move decidedly faster than those who stay in the middle of the road. This is just as true in metal cutting as it is in Formula 1 racing. And that's why the micrometer accuracy of a HEIDENHAIN control wins you enormous time advantages. Depending on the machine and the requirements for surface quality and dimensional accuracy, it deliberately cuts curves to make you faster. The result: your TNC achieves optimal results and puts you far ahead in the race for productivity and profitability. HEIDENHAIN (G.B.) Limited, 200 London Road, Burgess Hill, West Sussex RH15 9RD, phone: 01444 247711, fax: 01444 870024, [www.heidenhain.co.uk](http://www.heidenhain.co.uk), e-mail: [sales@heidenhain.co.uk](mailto:sales@heidenhain.co.uk)

angle encoders + linear encoders + **contouring controls** + position displays + length gauges + rotary encoders