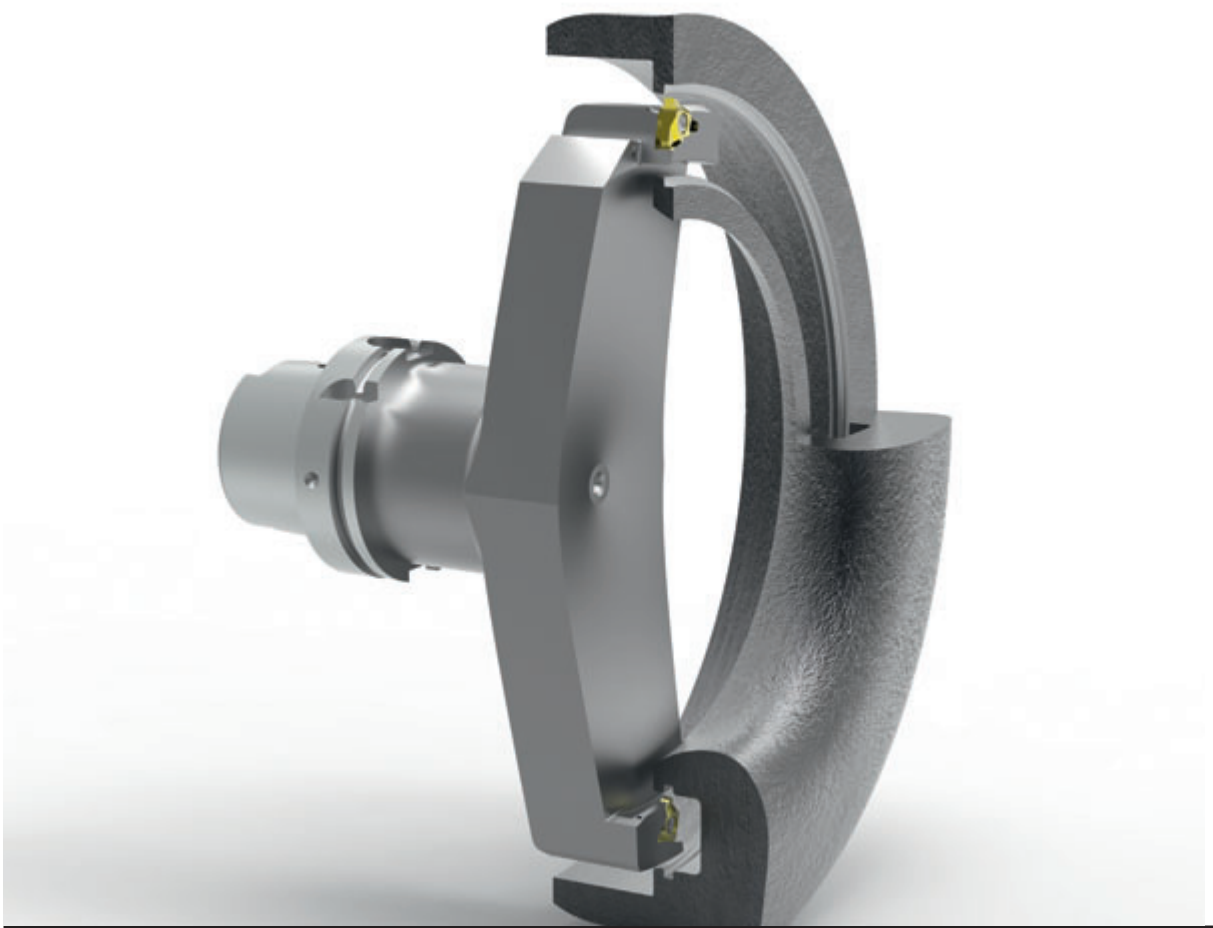


Wie funktioniert das Interpolationsdrehen?

01 | Interpolationsdrehen



Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer | Dr.-Ing. Dirk Sellmer

Das Interpolationsdrehen ist ein bisher wenig bekanntes Bearbeitungsverfahren, mit dem Drehprozesse auf Bearbeitungszentren realisiert werden können. Eingesetzt wird es zum Beispiel für Einstiche an kubischen Werkstücken, die ansonsten durch Zirkularfräsen hergestellt werden könnten. Aber auch viele andere für das Drehen typische Geometrien, wie zum Beispiel Kegel können mit dem Interpolationsdrehen auf Bearbeitungszentren erzeugt werden.

Wichtige maschinelle Voraussetzung für die Einsetzbarkeit ist eine Hauptspindel, die als lagegeregelte Achse betrieben werden kann. Ist diese Voraussetzung erfüllt, können in vielen Fällen gegenüber dem Zirkularfräsen oder dem Umspannen des Werkstücks auf eine Drehmaschine Vorteile des Interpolationsdrehens genutzt werden. Dieser Beitrag beschreibt das Bearbeitungsverfahren einschließlich der NC-Programmierung und einiger Zusammenhänge, die für die Anwendung und die Werkzeugauswahl wichtig sind.

Verfahren

Wie funktioniert das Verfahren?

Für das Interpolationsdrehen wird die Hauptspindel des Bearbeitungszentrums in den lagegeregelten Betrieb (auch Achsbetrieb genannt) umgeschaltet. Sie lässt sich dann wie eine Drehachse ansteuern. Beim Einstechen oder Plandrehen auf

Spiralbewegung wird beim Interpolationsdrehen auf Bearbeitungszentren üblicherweise mit Halbkreisen angenähert, d.h. die Vorschubachsen fahren in Kreisinterpolation einen Halbkreis (in der x-y-Ebene) und gleichzeitig wird die Hauptspindel der Bewegung der Vorschubachsen nachgeführt (Bild 1). Die Mittelpunkte der Halbkreise sind dabei leicht gegenüber der Mittelachse des Einstichs verschoben. Dadurch ergibt sich eine Bewegung der Schneide, die der Spirale beim konventionellen Drehen auf Drehmaschinen sehr ähnlich ist. (Die maximale Abweichung im Radius der tatsächlich gefahrenen Bahn gegenüber der Spirale ist ca. 5% des radialen Vorschubs pro Umdrehung f . Bei einem Vorschub von 0,15 mm beträgt also die maximale Abweichung gegenüber der Spirale ca. 7,5 μm .)

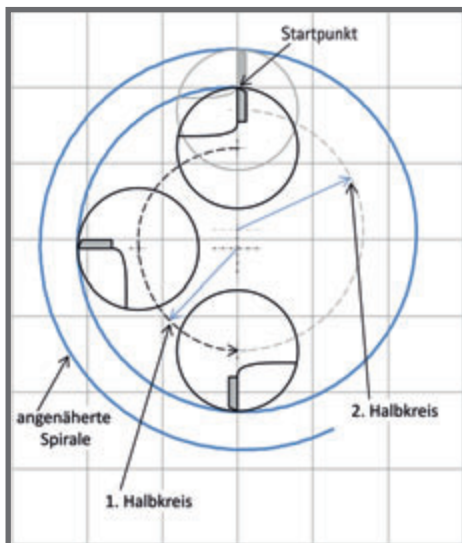


Bild 1: Orientierung des Werkzeugs synchron zur Position in der xy-Ebene

Drehmaschinen läuft die Schneide auf einer Spirale auf das Werkstück zu. Dabei ist der radiale Vorschub pro Umdrehung die Spiralsteigung. Diese

INDEX

Funktionsweise	2
Vorteile und Anwendbarkeit	4
NC-Programmierung	6
Prozessanalyse	8
Zusammenfassung	9

Verfahren

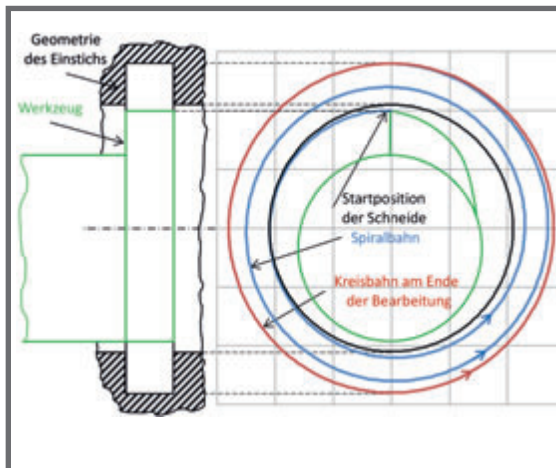


Bild 2: Werkzeugbewegungen beim Interpolationsdrehen (Spirale, Kreisbahn)

Nach Erreichen des Enddurchmessers werden eine oder zwei Kreisbahnen ohne radialen Vorschub gefahren (Bild 2). Im Gegensatz zur Spiralbahn, die nur angenähert wird, wird hier also – abgesehen von Ungenauigkeiten der Vorschubachsen – „genau“ auf der theoretisch korrekten Bahn gefahren. In ähnlicher Weise ist auch das Längsdrehen oder das Drehen von Kegeln möglich. Hier wird der Kreisbahn in der x-y-Ebene neben der Bewegung der C-Achse (der Hauptspindel) auch eine Bewegung der z-Achse überlagert.

Anwendbarkeit und Vorteile

Anwendbarkeit und Vorteile des Verfahrens

Die häufigste Anwendung des Interpolationsdrehens sind Einstiche an Werkstücken, die auf Bearbeitungszentren gefertigt werden. Einige Werkzeuge für das Verfahren sind in Bild 3 dargestellt. Auch schräge Einstiche, Freistriche und die drehende Bearbeitung von Planflächen sind möglich (Bild 4). Beispiele für Werkstücke für das Einstechen sind Hauptbremszylinder, Bremsattel, Hydraulik-Ventilgehäuse, Schwenklager oder Getriebegehäuse.

In allen diesen Werkstücken sind Nuten, zum Beispiel für Dichtringe, herzustellen. Gegenüber dem Zirkularfräsen, welches ebenfalls zur Bearbeitung dieser Nuten einsetzbar ist, ist das Interpolationsdrehen in vielen Fällen schneller. Ursache für die hohe Bearbeitungszeit beim Zirkularfräsen ist die Schwingungsanregung der häufig langen und wenig steifen Zirkularfräser durch den unterbrochenen Schnitt beim Fräsen. Um die Schwingungsamplituden zu begrenzen, muss mit verhältnismäßig kleinen



Bild 3: Werkzeug zum Einstechen per Interpolationsdrehen.

Vorschüben und/oder Zustellungen gearbeitet werden.

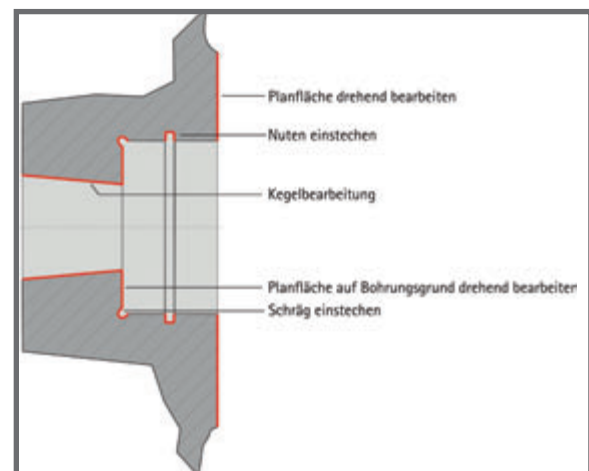


Bild 4: Bearbeitungsmöglichkeiten beim Interpolationsdrehen
Wie beim Drehen sind beim Interpolationsdrehen die Spannungsdicke und damit die Schnittkraft konstant, so dass das Werkzeug nicht zu Schwingungen angeregt wird wie beim Zirkularfräsen. Das ist ein wesentlicher Vorteil des Interpolationsdrehens, insbesondere bei lang auskragenden Werkzeugen. Darüber hinaus kann der Werkzeugschaft für das Interpolationsdrehen deutlich steifer ausgeführt werden im Vergleich zum Zirkularfräsen. Beides ermöglicht in vielen Fällen deutlich höhere Zeitspannvolumina und kürzere Bearbeitungszeiten als beim Zirkularfräsen. Beispielsweise konnte die

01 | Interpolationsdrehen

Anwend-
barkeit
und Vor-
teile

Bearbeitungszeit von drei Dichtnuten in einem Differentialgehäuse aus GG25 durch die Umstellung von Zirkularfräsen auf Interpolationsdrehen um zwei Drittel reduziert werden.

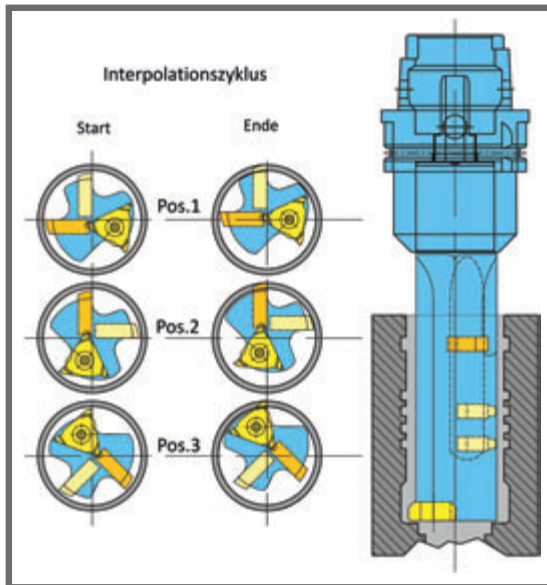


Bild 5: Bearbeitung von mehreren Nuten und Freistichen durch Interpolationswerkzeug mit mehreren Schneiden

Eine zusätzliche Möglichkeit, Zeit einzusparen ergibt sich, wenn in einem Werkzeug für das Interpolationsdrehen mehrere Schneiden für unterschiedliche Bearbeitungen integriert werden. Tangentialplatten haben hier Vorteile durch geringere Schwächung des Schaftes. In Bild 5 ist ein solches Werkzeug dargestellt. Zunächst werden in Position 1 die vier mittleren Nuten bearbeitet. Anschließend wird das Werkzeug in der Mitte der Bohrung um 90° gedreht und in Position 2 die obere Nut hergestellt. Nach einer weiteren Drehung wird in Position 3 der Freistich am unteren Ende durch Einstechen und Längsdrehen gefertigt. Wenn sich bei entsprechend großen Stückzahlen Sonderwerkzeuge lohnen, ergibt sich die hohe Produktivität also einerseits aus dem häufig höheren realisierbaren Zeitspanvolumen und andererseits aus der Möglichkeit, mehrere Schneiden für unterschiedliche Bearbeitungsstellen in einem Werkzeug anzuordnen und dadurch Werkzeugwechselzeit einzusparen.

Beispiele für die Bearbeitung von Planflächen sind Passlager in Zylinderkurbelgehäuse und Zylinderkopf und die Bearbeitung von Steuerkanten in Ventilgehäusen. In beiden Fällen sind die Zirkularfräs-

Werkzeuge typischerweise sehr langauskragend und daher wenig steif, so dass beim Zirkularfräsen mit sehr geringen Vorschüben und Zustellungen gearbeitet werden muss beziehungsweise beim Passlager alternativ ein kompliziertes Aussteuerwerkzeug zum Einsatz kommt. Für die Bearbeitung der Steuerkanten hat die Bearbeitung mittels Interpolationsdrehen einen weiteren Vorteil: Die Steuerkante, also der Übergang zwischen Durchmesser und Planfläche, wird beim Zirkularfräsen durch eine Vielzahl von Einschnitten erzeugt. Dadurch bilden sich die Riefen der einzelnen Schneiden in der Steuerkante ab (ähnlich einem Sägezahnprofil). Beim Interpolationsdrehen wird dagegen eine sehr gleichmäßige Kante erzeugt, die nicht nur bei der Bearbeitung von Steuerkanten vorteilhaft ist.

Die Werkzeugstandzeit ist beim Interpolationsdrehen aufgrund des kontinuierlichen Schnitts ohne Schwingungen häufig größer als beim Zirkularfräsen. Der Unterschied ist besonders groß, wenn beim Zirkularfräsen ein relativ großer Umschlingungswinkel des Werkzeugs vorliegt. In einem Beispiel, in dem das V-Band eines Turboladers aus hochwarmfestem Stahlguss bearbeitet wird, können mit einer Schneide beim Interpolationsdrehen 100 Werkstücke bearbeitet werden. Demgegenüber konnten mit dem Zirkularfräsen mit einem vierschneidigen Werkzeug nur 50 Werkstücke bearbeitet werden, bis alle vier Schneiden auszutauschen waren. Das bedeutet, dass beim Interpolationsdrehen die achtfache Standmen-ge pro Schneidkante erreicht wurde.

NC-Programmierung für das Interpolationsdrehen

Die NC-Programmierung für das Interpolationsdrehen soll anhand der verbreiteten NC-Steuerung Siemens 840D erläutert werden. Zusätzlich zu der dargestellten Möglichkeit der Programmierung sind in den Steuerungen mancher Maschinenhersteller auch Zyklen für das Interpolationsdrehen integriert. Wie oben schon erwähnt, ist eine wichtige maschinelle Voraussetzung für die Einsetzbarkeit des Interpolationsdrehens eine Hauptspindel, die als geregelte Achse (C-Achse) betrieben werden kann. Teilweise muss die C-Achse (also die lagegeregelt Drehachse der Hauptspindel) mit der Anweisung FGROU in einen Achsverbund mit den anderen Vorschubachsen gebracht werden. Sie arbeitet dann als Bahnachse. Bei anderen Maschinen ist das nicht nötig. In dem Fall arbeitet die Hauptspindel als Synchronachse zu den Bahnachsen (in x-, y- und z-Richtung), das heißt sie fährt synchron zu den Bahnachsen und

NC-Pro-
grammie-
rung

01 | Interpolationsdrehen

NC-Programmierung

benötigt im jeweiligen NC-Satz für den Fahrweg die gleiche Zeit wie sie.

Am Beispiel eines zu bearbeitenden Einstichs in einer Bohrung, soll die NC-Programmierung detailliert erklärt werden. Auch die Bearbeitung einer Planfläche von innen nach außen ist mit dem gleichen NC-Programm möglich, solange der Innendurchmesser der Planfläche größer ist als der Werkzeugdurchmesser. Zum besseren Verständnis und insbesondere für die flexible Verwendbarkeit des NC-Programms werden Rechenparameter im Programm verwendet, so dass es auch leicht in eigene NC-Programme integriert werden kann. Das Programm ist geschrieben für eine Hermle C30 mit Siemens 840D-Steuerung. Hier ist die Anweisung FGROUPE nicht nötig. Die Hauptspindel muss nur mit der M-Funktion M70 in den lagegeregelten Betrieb umgestellt werden.

In eine vorher gefertigte Bohrung mit Durchmesser 30,5 mm wird eine Nut eingestochen bis auf den Durchmesser 36 mm. Die Nutbreite ergibt sich aus der Werkzeuggeometrie. In den Zeilen N50 bis N120 werden die nötigen Werte für die herzustellende Geometrie, den radialen Vorschub pro Umdrehung, den Umlaufradius der Werkzeugschneide und eine Rückzugsebene in z-Richtung den entsprechenden R-Parametern zugewiesen. Der Startdurchmesser der Bearbeitung ist etwas kleiner als der Bohrungsdurchmesser, um Kollisionen zu vermeiden. Dieser Sicherheitsabstand muss ausgehend von den Toleranzen des konkreten Werkstücks angepasst werden. Für den radialen Vorschub pro Umdrehung sind Werte zwischen 0,1 mm und 0,15 mm typisch.

In den folgenden Zeilen bis N190 werden verschiedene Parameter berechnet, die für die Bearbeitung nötig sind (siehe auch Kommentare im NC-Programm). Der angegebene radiale Vorschub wird so nach unten angepasst, dass eine ganzzahlige Anzahl von Umdrehungen bis zum Erreichen des Enddurchmessers resultiert. Der Durchmesser der Kreisbahn, die mit den Vorschubachsen in der xy-Ebene gefahren wird, ergibt sich aus dem Bearbeitungsdurchmesser und dem Werkzeugdurchmesser (N190) und ist typischerweise zu Beginn der Bearbeitung recht klein.

Nach Anwahl verschiedener G-Funktionen und dem Einwechseln des Werkzeugs wird auf die Position der Bohrung gefahren, die Spindel in Lageregelung gebracht (N280) und im richtigen Winkel positioniert (hier auf 270°). Dieser Wert muss im konkreten

```

N10 ; Interpolationsdrehen eines radialen
Einstichs in einer Bohrung
N20 ; Beispielprogramm fuer Hermle C30 mit
Siemens 840D
N30 ;-----
N40 ; Eingaben:
N50 R1= 30; Startdurchmesser der Bearbeitung
N60 R2= 36; Enddurchmesser der Bearbeitung
N70 R4= 0.12; radialer Vorschub pro Umdrehung
N80 R5= 50; x-Position der Bohrungsmittelachse
N90 R9= 60; y-Position der Bohrungsmittelachse
N100 R10= -20; z-Position für Bearbeitung
N110 R11= 100; z-Position für Rueckzugsebene
N120 R13=14; Umlaufradius der Werkzeugschneide
N130 ;-----
N150 R0= 0; Zaezler
N160 R3= (R2-R1)/2; radialer Fahrweg
N170 R5= ROUND(R3/R4)*1; ganzzahlige Anzahl der
Umdrehungen, so dass angegebener Vorschub nicht
ueberschritten wird
N180 R4= R3/R5; korrigierter radialer Vorschub
(damit Enddurchmesser in ganzzahliger Anzahl von
Umdrehungen erreicht wird)
N190 R12= R1-(2*R13); Durchmesser der Kreisbahn
in xy-Ebene
N200 G40; Werkzeugradiuskorrektur aus
N210 G64; Bahnsteuerbetrieb
N220 G71; metrische Massangaben
N230 G90; Absolutbemassung
N240 G54; Nullpunktverschiebung
N250 T="FRAESER12"
N255 L6; Werkzeug einwechseln
N260 G0 Z=R11
N270 G0 X=R8 Y=R9
N280 M70; Spindellageregelung ein
N290 G01 SP=270 F20000
N300 G01 Z=R10 F5000
N310 G17; Arbeitsebene XY
N320 G01; Inkrementalbemassung
N330 G01 X0 Y=(R12/2) F20000
N340 ; Spirale, R5 Umdrehungen
N350 START1:
N360 R12= R12 + R4
N370 G02 X0 Y= -R12 I0 J=-(R12/2) SP=180
N380 R12= R12 + R4
N390 G02 X0 Y=R12 I0 J=(R12/2) SP=180
N400 R0= R0 + 1
N410 IF R0>R5 GOT0B START1
N420 ; Kreisbahn
N430 G02 X0 Y0 I0 J=-(R12/2) SP=720 TURN= 1;
zwei volle Umdrehungen
N440 G01 X0 Y=-(R12/2); in die Bohrungsmitte
fahren
N450 G01 Z=R11 F5000
N460 M5; Spindel halt
N470 M2; Programmende
    
```

Einzelfall überprüft und ggf. korrigiert werden (zum Beispiel auf 90°), so dass sich eine Orientierung der Werkzeugschneide wie in Bild 1 ergibt. Dann kann das Werkzeug in die Bohrung eingefahren werden. Für die Bearbeitung selbst wird die Ebene der Kreisbahn ausgewählt und auf Inkrementalbemassung umgestellt. In Zeile N330 wird die Startposition angefahren, so dass anschließend entlang der (angenäherten) Spirale bearbeitet werden kann. Hier wird auch die Vorschubgeschwindigkeit für die Bearbeitung angegeben. Mit F20000 ist eine so hohe Vorschubgeschwindigkeit programmiert, dass diese in der Bahn sicher nicht erreicht wird. Die Folge ist, dass mit der maximal möglichen Vorschubgeschwindigkeit in der Bahn gefahren wird. Diese ist insbesondere von der Dynamik der Werkzeugmaschine und dem momentan zu fahrenden Radius in der xy-Ebene abhängig und ändert sich während der Bearbeitung. Direkt abhängig von der Vorschubgeschwindigkeit und dem Radius in der Bahn sind die Drehzahl des Werkzeugs und die Schnittgeschwindigkeit.

Für die eigentliche Bearbeitung läuft die Schneide entlang von Halbkreisen, deren Durchmesser nach jeder halben Umdrehung um den radialen Vorschub vergrößert wird (N360, N380). Der Radius wird also nach jeder halben Umdrehung um die Hälfte des

NC-Programmierung

radialen Vorschubs vergrößert. Nach einer ganzen Umdrehung ist er dann um den radialen Vorschub größer. Dazu wird eine Kreisbahnbewegung in der xy-Ebene durch die beiden Vorschubachsen mit der Drehbewegung der Hauptspindel wie in Bild 1 beschrieben überlagert. Programmiert werden die Halbkreise in der xy-Ebene, wobei die Hauptspindel synchron zu dieser Bewegung eine halbe Umdrehung weiterdreht (N370, N390). Nach jedem ganzen Kreis wird der Zähler R0 um eins erhöht (N400), bis die Anzahl der Umdrehung R5 und damit der Enddurchmesser erreicht ist (N410). Anschließend werden zwei volle Umdrehungen mit dem Enddurchmesser gefahren (N430). Bei der ersten Umdrehung nimmt die Spannungsdicke kontinuierlich ab, bis sie am Ende der ersten Umdrehung theoretisch null ist. Die zweite Umdrehung kann häufig die Genauigkeit des hergestellten Durchmessers verbessern. Bei ausreichend scharfer Schneide baut sich ein Teil der Werkzeugverformung ab, so dass noch ein feiner Span abgenommen wird (ähnlich dem Ausfunken beim Schleifen).

Im beschriebenen NC-Programm wurde ohne Werkzeugradiuskorrektur gearbeitet (G40). Grundsätzlich ist es auch möglich, mit Werkzeugradiuskorrektur zu arbeiten. Dann kann der Enddurchmesser der Bearbeitung angepasst werden, ohne das NC-Programm zu ändern.

Die Dynamik der Maschine kann durch die Anweisung BRISK und deren Gegenpart SOFT beeinflusst werden. Nach der Anweisung BRISK fahren die Vorschubachsen mit voller Beschleunigung bis zur Erreichung der Endgeschwindigkeit. Durch die Anweisung SOFT (Standardeinstellung) wird ein ruckarmer Beschleunigungsverlauf eingestellt und eine höhere Bahngenauigkeit und geringere Maschinenbelastung bewirkt. Der Maschinenhersteller kann bei der Implementation der Steuerung allerdings auch ein anderes Verhalten vorsehen. Es muss im Einzelfall durch Tests auf der Maschine untersucht werden, ob durch die Anweisung BRISK eine Verkürzung der Bearbeitungszeit oder eine Verlängerung eintritt.

Prozessanalyse

Es sollen nun noch einige Zusammenhänge zur Dynamik der Maschine und den davon abhängigen Bahnabweichungen und Rundlaufgenauigkeiten dargestellt werden, die für das Prozessverständnis des Interpolationsdrehens hilfreich sind. Es wird von einer Innenbearbeitung wie dem Nuteneinsteichen in einer Bohrung ausgegangen. Die Überlegungen

können aber auf die Außenbearbeitung durch Interpolationsdrehen übertragen werden. Die entsprechenden Versuche wurden an einer Hermle C30 dynamic durchgeführt. Es wurden Kreisbahnen in der xy-Ebene gefahren, wobei – wenn nicht anders angegeben – die Hauptspindel in der Lageregelung war (wie beim Interpolationsdrehen). Die Messwerte wurden mit Servotrace direkt aus der NC-Steuerung aufgenommen. Es sind die Positionswerte aus den maschinenintegrierten Messsystemen (Linearmaßstäbe für Vorschubachsen und Drehgeber für Hauptspindel). Das bedeutet auch, dass die Einflüsse von Werkzeugverformungen aufgrund von Schnittkräften auf die Maßgenauigkeit der Werkstücke hier nicht berücksichtigt sind.

Wie weiter oben schon deutlich gemacht wurde, kann die Werkzeugdrehzahl und die Schnittgeschwindigkeit der Bearbeitung nicht explizit im NC-Programm vorgegeben werden. Beides ist mit der erreichbaren Vorschubgeschwindigkeit in der Bahn verbunden und begrenzt durch die Dynamik der Werkzeugmaschine. Die erreichbare Vorschubgeschwindigkeit ist insbesondere von dem Radius der gefahrenen Kreisbahn und von der Achsbeschleunigung abhängig. Im Bahnsteuerbetrieb ist dabei typischerweise nicht die angegebene (Maximal-) Beschleunigung der Werkzeugmaschine wirksam, sondern eine geringere Beschleunigung.

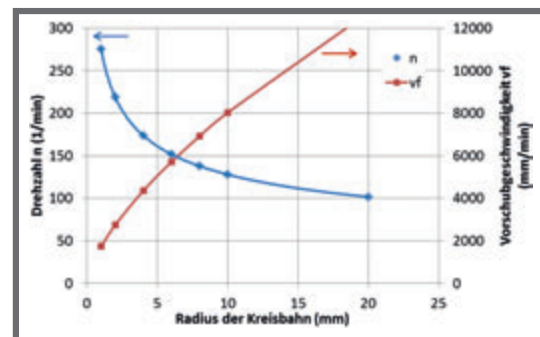


Bild 6: Abhängigkeit der erreichbaren Werkzeugdrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit in der Bahn vom Radius der Kreisbahn

Der Zusammenhang ist beispielhaft für die untersuchte Maschine in Bild 6 dargestellt. Hierzu wurden Kreisbahnen unterschiedlicher Radien gefahren, wobei die Hauptspindel ebenfalls in der Lageregelung war und synchron zur Vorschubbewegung lief. (Ähnliche Messungen, bei denen nur die Kreisbahn gefahren wird und die Hauptspindel nicht mit der Kreisbahnbewegung synchronisiert ist, ergeben die gleichen Werte für die Vorschubgeschwindigkeit. Das

Prozessanalyse

01 | Interpolationsdrehen

Prozess- analyse

heißt, dass die erreichbare Vorschubgeschwindigkeit nicht dadurch begrenzt wird, dass die Hauptspindel synchron zur Vorschubbewegung läuft.) Je größer der Radius der Kreisbahn, desto größer ist auch die Vorschubgeschwindigkeit und desto kleiner ist die Werkzeugdrehzahl. (Da die Hauptspindel synchron zur Kreisbahnbewegung läuft, ist die Drehfrequenz dieser Kreisbahnbewegung gleich der Werkzeugdrehzahl.)

Die erreichbare Drehzahl steigt mit kleiner werdendem Radius der Kreisbahn deutlich an. Ein bestimmter Bearbeitungsdurchmesser wird also mit kleinem Radius der Kreisbahn und entsprechend größerem Werkzeugdurchmesser schneller und mit höherer Schnittgeschwindigkeit bearbeitet als mit einem größeren Radius der Kreisbahn und kleinerem Werkzeugdurchmesser. Für eine kurze Bearbeitungszeit ist also ein möglichst kleiner Radius der Kreisbahn in der xy-Ebene anzustreben, verbunden mit einem relativ großen Werkzeugdurchmesser (Der Durchmesser der Kreisbahn ist die Differenz aus Bearbeitungsdurchmesser und Werkzeugdurchmesser). Der Werkzeugdurchmesser muss zumindest etwas kleiner sein als der Startdurchmesser der Bearbeitung. Dann ist der Radius der Kreisbahn etwas größer als null. Die erreichbaren Drehzahlen sind relativ klein, so dass eine Unwucht des Werkzeugs nur sehr geringe Unwuchtkräfte hervorruft.

Die radialen Abweichungen von der Sollposition der Werkzeugschneide während einer Werkzeugumdrehung sind in Bild 7 dargestellt.

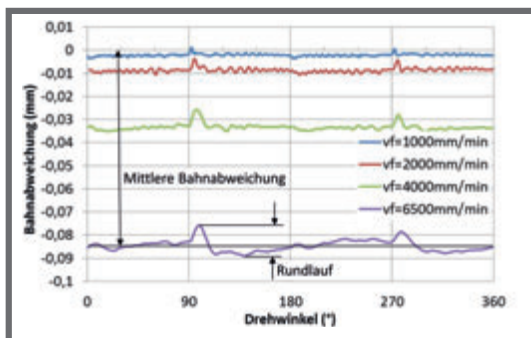


Bild 7: Bahnabweichung über dem Drehwinkel bei unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten und einem Radius der Kreisbahn von 8 mm

Sie haben ihre Ursache zu nahezu 100 % in der Bahnabweichung der Kreisfahrt (in der xy-Ebene).

Der Beitrag von Synchronisationsfehlern der Hauptspindel mit der Bewegung der Vorschubachsen ist in den durchgeführten Versuchen kleiner als $0,1 \mu\text{m}$. Die mittlere Bahnabweichung (also der Unterschied zwischen programmiertem Radius und tatsächlich gefahrenem Radius) steigt mit dem Quadrat der (tatsächlich erreichten) Vorschubgeschwindigkeit. Bei diesen Versuchen wurde immer ein Radius der Kreisbahn von 8 mm programmiert und mit unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten gefahren.

Der tatsächlich hergestellte Durchmesser ist etwas kleiner als der programmierte Enddurchmesser der Bearbeitung. Die Durchmesserabweichung kann also durch eine verringerte Vorschubgeschwindigkeit bei den letzten ein oder zwei Umdrehungen auf konstantem Durchmesser deutlich verringert werden. Auch der Rundlauf (die Differenz zwischen größter und kleinster Bahnabweichung während einer Umdrehung) steigt (etwa linear) mit der Vorschubgeschwindigkeit.

Die entsprechenden Werte der radialen Bahnabweichung für unterschiedliche Radien der Kreisbahn (von 1 mm bis 8 mm) und jeweils erreichbare Vorschubgeschwindigkeiten sind in Bild 8 gezeigt. Die erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten und die Bahnabweichungen steigen mit steigendem Radius der Kreisbahn.

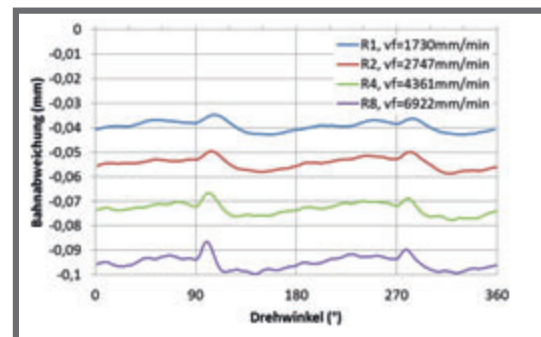


Bild 8: Bahnabweichung über dem Drehwinkel bei verschiedenen Radien der Kreisbahn und jeweils maximal erreichbarer Vorschubgeschwindigkeit (R1: 1mm Radius, ..., R8: 8 mm Radius)

Ein bestimmter Bearbeitungsdurchmesser wird also mit kleinem Radius der Kreisbahn und entsprechend größerem Werkzeugdurchmesser genauer gefahren, als mit einem größeren Radius der Kreisbahn und kleinerem Werkzeugdurchmesser. Gleichzeitig wird mit kleinerem Radius der Kreisbahn auch die Bearbeitungszeit kürzer, wie schon weiter oben gezeigt.

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Mit dem Interpolationsdrehen sind Drehbearbeitungen auf Bearbeitungszentren möglich. Eine wichtige Anwendung ist das Einstechen von Nuten sowohl in der Außenbearbeitung als auch bei der Bearbeitung von Bohrungen. Hier konkurriert das Verfahren mit dem Zirkularfräsen und hat gegenüber diesem einige Vorteile. Durch den kontinuierlichen Schnitt wird der Bearbeitungsprozess weniger zu Schwingungen angeregt als beim Zirkularfräsen, so dass häufig mit höherem Zeitspannvolumen und daher schneller bearbeitet werden kann. Der Produktivitätsvorteil ist besonders groß, wenn lang auskragende Werkzeuge verwendet werden müssen und bei relativ kleinen Bohrungen. Gegenüber einem Zirkularfräs Werkzeug kann der Werkzeugschaft für das Interpolationsdrehen massiver und steifer ausgeführt werden. Wegen des kontinuierlichen Schnitts ist der Werkzeugverschleiß häufig geringer als beim Zirkularfräsen. Bei Verwendung von Sonderwerkzeugen können mehrere Schneiden für unterschiedliche Bearbeitungsstellen in einem Werkzeug angeordnet werden, wodurch Werkzeugwechselzeit eingespart werden kann. Für manche Bearbeitungsfälle wie Steuerkanten an Ventilen wird durch den gleichmäßigen Schneiden-eingriff eine Qualitätsverbesserung gegenüber dem Zirkularfräsen erreicht.

Neben dem Einstechen von Nuten sind z. B. auch Plandrehen, Kegeldrehen und Schrägeinstiche mit dem Interpolationsdrehen auf Standardbearbeitungszentren möglich. Mit erweiterten Programmiersystemen, die über das hier beschriebene manuelle Programmieren hinausgehen, sind auch komplizierte Bearbeitungen wie das Anfasen des Übergangs zwischen einer Bohrung und einer Ebene möglich, wenn die Bohrung nicht senkrecht auf der Ebene steht. Das Verfahren kann sinnvoll eingesetzt werden in der Großserienfertigung, wo eine kurze Bearbeitungszeit im Vordergrund steht. Mit einfachen, kostengünstigen Werkzeugen – wie einem Innendrehmeißel zum Nuten Einstechen – ist es mit seiner großen Flexibilität aber auch für die Kleinserienfertigung interessant.

Beim Interpolationsdrehen eines Einstichs wird die Relativbewegung zwischen Schneide und Werkstück durch eine Überlagerung einer mit den Vorschubachsen gefahrenen Kreisbahn und der dazu synchronisierten Drehbewegung der Hauptspindel erreicht. Die NC-Programmierung hierzu wurde detailliert vorgestellt. Weiterhin sind auf manchen

Werkzeugmaschinen auch Zyklen für das Interpolationsdrehen verfügbar.

Typische Werte für den radialen Vorschub pro Umdrehung liegen zwischen 0,1 mm und 0,15 mm. Die Schnittgeschwindigkeit kann nicht direkt im NC-Programm vorgegeben werden. Sie ergibt sich aus der Werkzeugdrehzahl, die wiederum abhängig ist von der tatsächlich erreichten Vorschubgeschwindigkeit in der Kreisbahn. Die Vorschubgeschwindigkeit ist abhängig von dem Radius der Kreisbahn und der Beschleunigung der Vorschubachsen. Allgemein ist die Schnittgeschwindigkeit aufgrund der begrenzten Beschleunigungsfähigkeit der Vorschubachsen relativ niedrig. Sie berechnet sich nach der üblichen Gleichung für die Schnittgeschwindigkeit, wobei der Bearbeitungsdurchmesser und nicht der Werkzeugdiameter eingesetzt wird (siehe Textbox mit NC-Programm).

Für eine möglichst kurze Bearbeitungszeit sollte der Werkzeugdiameter bei der Innenbearbeitung möglichst groß sein, so dass der Radius der gefahrenen Kreisbahn zu Beginn der Bearbeitung möglichst klein ist. Das ist gleichzeitig positiv für die Genauigkeit des bearbeiteten Durchmessers. Diese Genauigkeit kann außerdem gesteigert werden, in dem die Kreisbahnfahrt am Ende der Bearbeitung mit reduzierter Vorschubgeschwindigkeit durchgeführt wird. Auch eine scharfe Werkzeugschneide verbessert aufgrund der geringeren statischen Abdrängung des Werkzeugs die Genauigkeit.

Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer ist Inhaber des Stiftungslehrstuhls Spanende Fertigung an der Hochschule Aalen.
eckehard.kalhoefer@htw-aalen.de

Dr.-Ing. Dirk Sellmer ist Leiter der Forschung und Entwicklung bei MAPAL Dr. Kress KG.
dirk.sellmer@de.mapal.com

INFO: www.mapal.com

Weitere Informationen zum Thema finden Sie auf unserer Homepage oder fordern Sie einfach detaillierte Unterlagen an:

info@de.mapal.com

MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG
Obere Bahnstraße 13 | 73431 Aalen
Telefon +49 7361 585-3820
Telefax +49 7361 585-150