

Herstellung von Bohrungen mittels Zirkularfräsen mit einer magnetisch gelagerten Spindel¹

Dipl.-Ing. Christiane Rehm

1 Einleitung

Die Marktsituation im Bereich des Maschinenbaus erfordert, dass die Unternehmen ihren gesamten Produktionsprozess überdenken und Rationalisierungsmaßnahmen nutzen. Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass viele Hersteller von Werkzeugmaschinen ihre Kernkompetenzen ausbauen und gleichzeitig mit anderen Technologieführern kooperieren. So werden durch Integration innerhalb der Maschine neue Potenziale erschlossen. Entwicklungslösungen von Detaillösungen zielen in Richtung einer schnelleren, höherdynamischen und präziseren Fertigung [NN-02].

Im Rahmen des Förderprogramms "ProInno" (Teil Personalaustausch) untersucht der Lehrstuhl Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik gemeinsam mit der AXOMAT GmbH Berggießhübel den Einsatz magnetisch gelagerter Spindeln für die Zirkularbearbeitung. Ziel ist es, die Vorteile der magnetischen Lagerung, insbesondere die freie Beweglichkeit der Welle innerhalb des Lagerluftspaltes, zur Verbesserung der Qualität beim Zirkularfräsen auszunutzen.

2 Problemstellung

Nuten in Bohrungen stellen eine problembehaftete Zerspanungsaufgabe dar. Die Möglichkeit, Planschieber oder Ausdrehköpfe einzusetzen, ist für den Anwender teuer. Der Einsatz des ZirkularfräSENS ist von der Investitionsseite her gesehen kostengünstiger [TET-01].

Das FräSEN von sehr großen Gewinden, welche durch Gewindebohren nicht mehr herstellbar sind, können mittels ZirkularfräSEN gefertigt werden [MIL].

Beim ZirkularfräSEN wird das Werkzeug auf einer Helixbahn geführt. Problematisch sind dabei die Stellen der Bahn, an denen eine Achse ihre Richtung ändert (Quadrantenübergänge).

Die Geometrie des FräSERS gestattet es häufig nicht, das Werkzeug senkrecht in das Material eintauchen zu lassen. In diesen Fällen muss die Eintauchbewegung auf einer schrägen bzw. sehr flachen Bahn erfolgen. Der Bohrdurchmesser muss dann deutlich größer als der Werkzeugradius sein, da das Werkzeug sich auf dieser Bahn selbst freischneiden muss. Die Zustellung pro Hub bzw. Umlauf ist davon abhängig, wie weit die Querschneiden aus dem Trägermaterial herausragen. [HÄG-01].

¹ Teilergebnis aus dem Projekt P0028501 PBN2B, BMWi-Förderprogramm ProInno

3 Allgemeines zum Zirkularfräsen

Die Bewegung des Fräswerkzeugs gibt der Zirkularbearbeitung ihren Namen. Das Werkzeug taucht auf einer Helixbahn spiralförmig in das Werkstück ein und erzeugt so eine Bohrung.

Im Vergleich zur Bohrbearbeitung können auf diese Weise mit nur einem Werkzeug Bohrungen unterschiedlicher Durchmesser hergestellt werden. Neben der Einsparung von Werkzeugen führt die Senkung der Anzahl der Werkzeugwechsel bei Werkstücken mit verschiedenen Bohrungen zur Senkung der Nebenzeiten und zur Verbesserung der Oberflächenqualität.

Um diese Vorteile voll ausschöpfen zu können, muss die Maschine eine hinreichend genaue Kreisbahn fahren können, die Werkzeuge müssen angepasst werden. Die Prozessauslegung ist komplizierter als beim Bohren, da zusätzliche Parameter, z. B. das Verhältnis Werkzeugdurchmesser zu Bohrungsdurchmesser und axialer zu radialem Vorschub, beachtet werden müssen [GRO-02].

Bei der Bohrbearbeitung wird in Abhängigkeit vom Schneidenradius mit unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten und variierenden Spanwinkeln gearbeitet. Am ungünstigsten sind die Bedingungen im Bohrungszentrum. Dort ist die Schnittgeschwindigkeit gleich Null und die Querschneiden haben stark negative Spanwinkel. Letzteres erschwert den Transport des abgespannten Materials aus dem Bohrungsbereich.

Beim Zirkularfräsen muss das Fräswerkzeug immer kleiner als der zu erzeugende Bohrungsdurchmesser sein, damit gestaltet sich die Spanbildung und Abfuhr deutlich günstiger als beim Bohren.

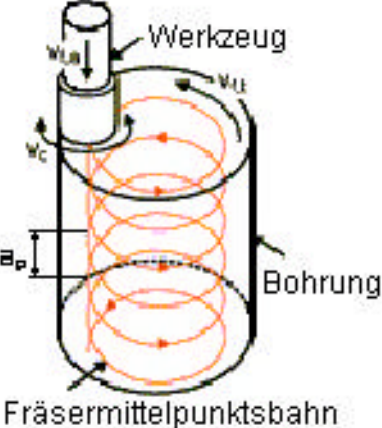
Bei der Zerspanung von CFK/Aluminium-Verbunden am IFW konnte nachgewiesen werden, dass der Verschleiß beim Fräsen geringer ist als beim Bohren. Beim Bohren sind die Schneiden des Werkzeugs ununterbrochen im Eingriff. Der unterbrochene Schnitt beim Fräsen reduziert die Wärmebeeinflussung und vermindert den Verschleiß [GRO-02].

Die Vorstellung, dass Nutstechen im Drehverfahren schneller sei als auf Fräsmaschinen hat sich weit verbreitet. Werden jedoch die richtigen Schnittparameter gewählt, so ist das Zirkularfräsen weitaus günstiger. Es setzt allerdings ein höheres Know-How bei der Wahl der Schnittparameter voraus. In der Serienfertigung werden Rundheiten von Nuten unter 0,02 mm erreicht [TET-01].

Im Leichtbau hat sich die Zirkularbearbeitung leichter Materialverbunde deutlich überlegen gegenüber der Bohrbearbeitung gezeigt. Werden die Prozessparameter und das Werkzeug richtig gewählt und die Maschinenkinematik entspricht den Anforderungen, können bei qualitativ hochstehenden Passbohrungen die Fertigungszeiten um 25% gesenkt werden [BMB-00].

In Tabelle 1 sind die Problemfelder und die Potenziale des Zirkularfräsen zusammengefasst.

Tabelle 1: Zirkularfräsen – Probleme und Potenziale [GRO-02]

Problemfelder	Bearbeitungsstrategie	Potenziale
<p>geeignete Werkzeugmaschine und Steuerung angepasste Schneidstoffe angepasste Prozessparameter: Vorschubgeschwindigkeit Schnittgeschwindigkeit axiale Zustellung pro Spiralumlauf (a_p) geeignete Werkzeuggeometrie</p>		<p>Fertigung unterschiedlicher Bohrungsdurchmesser mit einem Werkzeug verbesserter Spanbruch durch unterbrochenen Schnitt günstige Späneabtransport keine Stauch- und Quetschvorgänge mit $v_c = 0$, wie z. B. im Zentrum eines Bohrers Korrekturmöglichkeit von Maßabweichungen über die Steuerung</p>

4 Verbesserungen durch magnetisch gelagerte Spindeln

Beim Zirkularfräsen wird ein Fräser auf einer Helixbahn geführt. Problematisch sind die Stellen, an denen eine Achse ihre Richtung ändert (Quadrantenübergänge). Dadurch bleibt die Achse kurz stehen und weicht von der ursprünglich vorgegeben Helixbahn ab. Die Qualität der Bohrung kann nur durch eine optimale Abstimmung der Steuerung für diese Bearbeitungsaufgabe erreicht werden. Neben den Anforderungen an die Steuerungsfunktionalität hat die gesamte Maschinenkinematik einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Ein weiteres Problem beim Zirkularfräsen ist, dass das Durchmesser Verhältnis von Bohrung zu Werkzeug die Oberflächenqualität mitbestimmt. Je kleiner die Differenz der beiden Durchmesser ist, desto kleiner wird die zu fahrende Mittelpunktsbahn des Fräserwerkzeugs. Bei älteren CNC-Bearbeitungszentren kann dies zu Schleppfehlern an den Umschaltpunkten der Kreisbahn führen [TET-01]. Wird die Führung des Werkzeugs auf der Kreisbahn durch die Magnetlager-Regelung übernommen, entfällt dieses Problem.

Im Rahmen des Projektes besteht ein Aufgabenkomplex darin, die Problematik der Helixbahn zu untersuchen und Lösungen zu finden, wie diese unter Ausnutzung der Möglichkeiten magnetisch gelagerter Spindeln gelöst werden können. Da das Problem des Quadrantenüberganges innerhalb der Helixbahn ein mathematisches Problem ist und sich demzufolge nicht "wegrechnen" lässt, soll durch die Auslenkung der Spindel innerhalb ihrer Lager die Helixbahn unnötig werden.

Die Auslenkung der magnetisch gelagerten Spindel ist in verschiedenen Varianten möglich:

Die Spindel wird aus ihrer Position so verschoben, dass die Spindelachse parallel zur ursprünglichen Lage der Achse liegt. Bei der Rotation bewegt sich damit die Spindelachse auf der Außenhaut eines imaginären Zylinders. Es entsteht am Eingriffspunkt des Werkzeuges eine kreisrunde Bahn.

Die Spindelachse wird schräg zu ihrer ursprünglichen Mittellage gestellt. Bei der Rotation beschreibt die Bewegung der Spindelachse einen Kegel. Die Bahn an der Werkzeugspitze ist wie unter Punkt 1. kreisrund. Die Eingriffsverhältnisse, damit die Spanungsbedingungen, unterscheiden sich durch die Schräglage von denen, wenn die Spindel parallel verschoben wird.

Zusätzlich zu Schrägstellung der Spindel wird die Spindel auf einer vorgegebenen Bahn geführt. Die Bahn, die der Schneideneingriffspunkt ausführt, ist abhängig von der Auslenkung der Spindel. Diese Variante wird u.a. genutzt, um unrunde Bohrungen herzustellen.

Durch die beschriebenen Varianten der Auslenkung ist es möglich, die Helixbahn in der CNC-Steuerung zu vermeiden. Das Werkzeug wird über eine NC-Achse nur in Richtung der Längsachse der Bohrung bewegt. Die Helixbewegung wird durch die Auslenkung der Spindel ausgeführt. Es werden keine mechanischen Achsen bewegt. Der Regelung der magnetisch gelagerten Spindel wird die Helixbahn als Funktion vorgegeben und die Auslenkung erfolgt über die Veränderung der Steuerströme.

Neben der Vermeidung der Quadrantenübergänge und damit Vermeidung des Anhaltens einer NC-Achse müssen wesentlich geringere Massen bewegt werden, da nur die Bewegung in Richtung der Bohrungsachse über eine NC-Achse gesteuert wird.

Die Auslenkung der Spindel innerhalb der Magnetlager ist von der Größe des Luftspaltes in den Magnetlagern abhängig und kann nicht beliebig vergrößert werden. Es sind deshalb Überlegungen notwendig, ob es sinnvoll ist, die Vorbearbeitung durch Zirkularfräsen mit Helixinterpolation durchzuführen und anschließend eine Schlichtbearbeitung durchzuführen, bei der die Spindel innerhalb der Magnetlager ausgelenkt wird. Bei der Schlichtbearbeitung wird die Oberflächenqualität der Bohrung durch die zusätzlich Auslenkung der Spindel verbessert.

Werden Auslenkungen größer als 0,2 mm notwendig, ist zu untersuchen, ob die elektrischen Magnetlager mit Dauermagneten zu kombinieren sind.

Bei tiefen Bohrungen kann durch schräges Anstellen der Spindel eine Kollision zwischen Fräsermantelfläche und bereits bearbeiteter Bohrungsfläche vermieden werden. Dafür ist nur eine geringe Schrägstellung notwendig. Diese kann durch Schrägstellung der Spindel in den Lagern erfolgen, es muss keine NC-Rundachsen eingesetzt werden.

Während der Eintauchbewegung des Fräasers in das Werkstück ist darauf zu achten, dass keine senkrechten Bewegungen zulässig sind. Durch die spiralförmige Bewegung wird ein Aufsetzen des Werkzeuges mit der Fräserstirn auf das Material vermieden. Wird der Fräser außerdem leicht angestellt, kann der Eintauchwinkel verändert werden. Für eine Schrägstellung des Fräasers wird eine NC-Rundachse benötigt. Beim Einsatz einer magnetisch gelagerten Spindel kann die Schrägstellung über die Magnetlager-Regelung realisiert werden und eine NC-Rundachse ist nicht notwendig.

5 Ausblick

Die Vorteile des Zirkularfräsens können durch den Einsatz magnetisch gelagerter Spindeln weiter verbessert werden. Dazu müssen noch umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden.

Beachtet man, dass das Zirkularfräsen nicht nur bei der Herstellung von Bohrungen angewendet wird, sondern ebenso Innennuten gefräst oder Gewinde in schwerzerspanbaren Werkstoffen hergestellt werden bzw. Bohrungen mit zahlreichen Einstichen versehen werden [BAU-01] liegt hier noch ein umfangreiches Forschungspotential brach.

Literaturnachweis

- [BAU-01] Bauer, D.: Satzweises Zirkularfräsen von Einstichen mit Kombifräswerkzeug, VDI-Z Special Werkzeuge Mai 2001 S. 30f.
- [BMB-00] Bauckhage, K.; Mayr, P.; Brinksmeier, E.: Faserdetektor bis zum Schleifhärten: Das Bremer Institut für Werkstofftechnik stellt sein Forschungsspektrum vor, Pressemitteilung Nr. 134 / 13. Juni 2002 SC
- [GRO-02] Groppe, M.; Urban, B.: Zirkular durch CFK, phi 1/2002, S. 14ff.
- [HÄG-01] Hägele, W.: Zyklus für Bohr und Zirkularfräser, www.cnc-club.de/heidenhain/klartext/highlights/artikel/artikel-7.htm
- [MIL] Technologie-Übersicht - WFL Millturn Technologies GmbH & Co.KG, www.wfl.at/d/bearb/tech_08.html
- [NN-02] N.N.: Vorsichtiger Optimismus in der Metallbearbeitung, www.messe-duesseldorf/metav/de/presse_abs.html
- [TET-01] Tetzlaff, H.: Nuten zirkularfräsen - Zerspanung besonderer Art, Werkzeug-Technik 68, S. 46, März/April 2001