

Konzeptionell umschwenken

Neuartiger Kugelschwenkkopf für Motorspindeln

Edgar Klitsch

Eine effiziente HSC-Bearbeitung bedarf nicht nur hochfrequenter Motorspindeln, diese müssen auch möglichst simultan und hochdynamisch in fünf Achsen bewegt und geschwenkt werden können. Herkömmliche Gabelköpfe stoßen da konstruktionsbedingt allmählich an ihre Grenzen. Wer dennoch seine Durchlaufzeiten weiter reduzieren will, sich aber mit Parallelkinematiken nicht so recht anfreunden kann, der sollte auf das neuartige Konzept des Kugelschwenkkopfs setzen.

Infolge sinkender Produktzykluszeiten und dem daraus resultierenden Zeit- und Kostendruck steht heute bei den Werkzeug- und Formenbauern die Verkürzung der Durchlaufzeiten im Pflichtenheft ganz oben. Charakteristisch für Großwerkzeuge für den Automobilbau sind eine extrem lange Bearbeitungszeit und der signifikante Einfluss, den die Maschinen- und Werkzeugbedingungen auf das Bearbeitungsergebnis haben. Die Reduzierung der Durchlaufzeit liegt nicht nur in der Senkung der Maschinenhauptzeit, sondern auch in einer Verringerung der Einarbeitungszeit für die Umformwerkzeuge.

Maschinendynamik zu steigern überfordert Gabelkopf-Konzept

Voraussetzungen dafür sind die Verbesserung der Oberflächenqualität sowie der Formgenauigkeit. Beides wird entscheidend von der Dynamik der Maschinenachsen beeinflusst. Besonders bei filigranen Bearbeitungen müssen hohe Beschleunigungen zur Verfügung stehen, weil häu-

fige Richtungsänderungen mit ständigen Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgängen verbunden sind. Hierfür ist ein durchgängiger Bewegungsablauf der Werkzeugspindel nötig, das heißt, die Verstellachsen der Bearbeitungseinheit müssen endlos drehbar und kontinuierlich schwenkbar sein. Dies ist nur mit einer simultanen Bewegung aller fünf Achsen zu erreichen.

Um hierfür die Motorspindeln in die entsprechende räumliche Lage zu bringen, benötigt man eine Schwenkvorrichtung. Alle bekannten Schwenkvorrichtungen haben eine durchdrehende C-Achse und eine A-Achse, die meist um etwa $\pm 90^\circ$ schwenkbar ist. Derartige Schwenkvorrichtungen sind als Schrägachsenköpfe (Nutatoren) oder Gabelköpfe konzipiert. Ihre Konstruktionen wurden ursprünglich gezielt für angetriebene Hauptspindeln ausgelegt und sind später für den Einsatz in Verbindung mit Motorspindeln angepasst worden. Mit den ständig wachsenden Anforderungen an die Maschinendy-

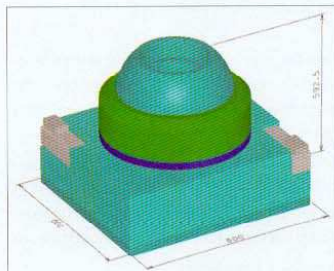


Bild 1. Kugelschwenkkopf für Motorspindeln: Hauptabmessungen (links) und hängende Darstellung um 45° geschwenkt (rechts) mit Blick auf die Energiezuführungsöffnung für Motorspindeln

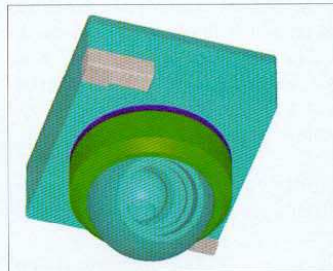


Bild 2. Kompaktes und schlüssiges Konstruktionsprinzip: Im Kugelschwenkkopf sind 30 Prozent weniger Bauteile integriert als in herkömmlichen Rotations-Schwenkköpfen

namik stößt jedoch das obige Konstruktionsprinzip zunehmend an seine Grenzen.

Die notwendigen äußeren Abmessungen dieser Schwenkköpfe bedingen rotatorische Mindestmassen, die nicht mehr wesentlich zu reduzieren sind. Die Antriebsmotoren in diesen Schwenkköpfen sind ebenfalls nicht soweit zu vergrößern, um das benötigte zwei- oder dreifache Antriebsmoment zu erreichen. Ein weiterer Nachteil ist, dass die heute übliche Konstruktionen Drehdurchführungen und elektrische Schleifring-Übertragungselemente erforderlich machen, die, auf Grund der Vielzahl der eingesetzten Motorspindeln, technisch immer schwieriger in den Griff zu bekommen sind. Weiterhin bedingt dieses Konstruktionsprinzip eine hochgenaue Fertigung der Gehäusebauteile, da Mittenversatz und ähnliche sich einstellende Ungenauigkeiten mit der Steuerung nicht mehr auszugleichen sind.

Auch Parallelkinematiken sind mit Nachteilen belastet

Insbesondere werden die Herstellkosten von den vielen benötigten Spezial-Bauteilen in die Höhe getrieben, wie etwa Dünnringlager, YRT-Lager, hochgenaue Zahnradgetriebe sowie natürlich Schleifring-Übertragungselemente und Dreh-

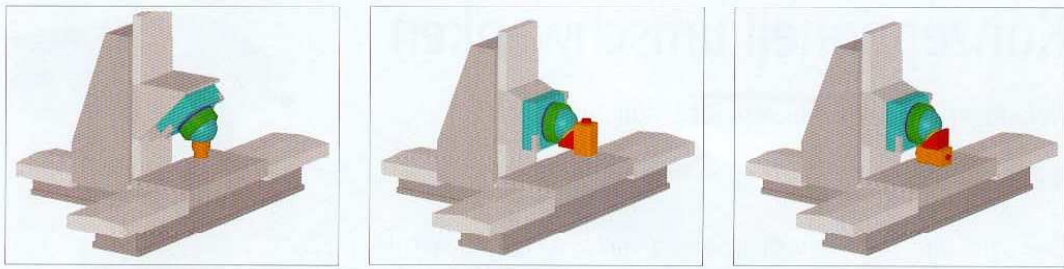


Bild 3. Adaptive Flexibilität: Kugelschwenkopf in 45°-Stellung mit Motorspindel (links) und in 45°-Stellung mit einer Positionierachse für Motorspindeln in Position 0° (Mitte) und 180° (rechts)

durchführungen. Nicht zu vergessen die vielen Montagestunden, die notwendig sind, um diese Teile aufeinander abzustimmen. Ebenso ist die Leckage ein großes Problem. Im Modellbau darf kein Tropfen Öl auf die Werkstückoberfläche fallen. Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Vielzahl der Übertragungselemente und der mit ihnen verbundenen mangelhaften Gesamtsteifigkeit des Antriebsstrangs sowie der daraus resultierenden Ausfallrate.

Hier liegen die Hauptargumente für das Konzept der Parallelkinematiken, die eine wesentlich höhere Dynamik beim Schwenken ermöglichen. Die Motorspindel kann mit einem minimalen Kraftaufwand in die entsprechende Position gebracht werden und weist prinzipbedingt höhere Standzeiten und geringere Ausfallraten auf. Positiv wirkt sich hierbei aus, dass weder Drehdurchführung noch Schleifring-Übertragungselemente benötigt werden. Nachteilig ist dagegen bei der Parallelkinematik die Limitierung des Einsatzbereichs auf flache Werkstücke, die sehr aufwändigen Steuerungsprogramme und der hohe Platzbedarf für die Gesamtmaschine auf Grund der Stabkinematik.

Der Kugelschwenkopf erlaubt hohe Dynamik auf kleinem Raum

Der im Jahr 2001 patentierte Kugelschwenkopf (Bilder 1 bis 3) übernimmt die beschriebenen Vorteile der Parallelkinematik, ohne jedoch deren Nachteile hinsichtlich des limitierten Einsatzbereichs und hohen Raumbedarfs aufzuweisen. Der Träger, der die Motorspindel aufnimmt, ist auf einer Seite als Kugel ausgebildet. Der fest stehende Teil, in dem sich die Kreuzschlittenverstellung befindet, ist als Kugelschale gestaltet. Beide

Teile bilden ein allseitig bewegliches Kugelgelenklager, das vorgespannt ist, um jegliches Spiel auszuschließen. Die Verstellung der Spindel-Neigung erfolgt direkt über einen senkrecht zur Kugelgelenk-Lagermittelachse angeordneten, kreuzbeweglichen Kugelbolzen. Die Kopplung zum verstellenden Motorspindel-Träger erfolgt über eine zylinderförmige Ausnehmung, dem Kugelbolzen und einer besonderen Kugelbuchse, welche die Vorspannung bewirkt.

Die Antriebseinheit besteht aus einem kompakten Kreuzschlitten, der durch zwei lineare NC-Achsen (pro Achse zwei Motoren) angetrieben wird. Dies wird dadurch ermöglicht, dass nur geringe Verfahwege des Kreuzschlittens notwendig sind, um die Motor-Frässpindel über den gesamten Schwenkbereich von $\pm 45^\circ$ zu schwenken. Der mittig gelagerte Motorspindel-Träger führt nur Pendelbewegungen aus; alle Schläuche und Leitungen werden direkt an der Motorspindel angeschlossen. Die bewegten und zu beschleunigenden Massen werden durch die Positionierung des Motorspindelträgers über eine waagerechte Verfahrebene deutlich reduziert. Drehdurchführungen und Schleifringübertragungselemente sind überflüssig, weil Schläuche und Elektrokabel die Schwenkbewegung mit einem festen Anschlusspunkt ausführen können. Auf Grund der frei im Kopf beweglich verlegten Schläuche und Kabel lässt sich die Adapterplatte für die Energieübergabe frei gestalten.

Günstiger, flexibler, dynamischer – ein überzeugendes Gesamtkonzept

Die Vorteile des Kugelschwenkopfs sind prinzipbedingt. Es entfallen sämtliche Drehdurchführungen sowie die Schleifring-

Übertragungselemente. In Summe kann die Anzahl der Bauteile gegenüber den Rotations-Schwenkköpfen um etwa 30 Prozent reduziert werden. Positiv auf den Gesamtpreis wirkt sich auch die Tatsache aus, dass nur Standard-Zukaufteile Verwendung finden. Auch die Gehäuseteile sind günstiger, weil auf Grund des konstruktiven Aufbaus die Lagetoleranzen nur einen geringen Einfluss auf die Funktionsgenauigkeit haben. Beschleunigung und Vorschubgeschwindigkeit liegen auf dem hohen Niveau der Parallelkinematik, weil durch den Verstellantrieb nur geringe Massenträgheitsmomente zu beschleunigen sind. Schläuche mit einem Außendurchmesser von bis zu 80 mm können direkt zum adaptierten Aggregat (wie etwa der Motorspindel) zugeführt werden.

Hinsichtlich des Einsatzbereichs gibt es keine Einschränkungen im Vergleich zu den herkömmlichen Rotations-Schwenkköpfen. Selbst die Bearbeitung tiefer Formen ist unproblematisch. Auch lässt sich der Arbeitsraum besser ausnutzen, weil durch die Kugelschwenkopf-Geometrie nur wenig toter Raum entsteht. Kalibrierung und Programmierung gestalten sich problemlos, weil die angefahrte Kreuzschlittenposition unmittelbar die räumliche Lage der Motorspindel bestimmt.

Der Kugelschwenkopf weist damit reduzierte Herstellkosten gegenüber den Rotations-Schwenkköpfen auf und steigert die Produktivität der Werkzeugmaschine durch Verkürzung der Zykluszeiten bei gleicher Qualität des Endproduktes. Er wird daher die derzeit verfügbaren Konstruktionen zunehmend substituieren.

■ Dipl.-Ing. Edgar Klitsch
ist Produktentwickler für spanabhebende Metall- und Holzbearbeitungsmaschinen;
edgar.klitsch@t-online.de