

Räumliche Genauigkeit von Werkzeugmaschinen
in der 5-Achs-Bearbeitung

Präzision auf Weltmeisterniveau

Für zahlreiche Bearbeitungsaufgaben bietet die 5-Achs-Bearbeitung klare wirtschaftliche Vorteile gegenüber der herkömmlichen 3-achsigen Bearbeitung. Um die Potentiale zur Reduktion der Bearbeitungszeiten und der Umspannvorgänge nutzen zu können, müssen allerdings deutlich komplexere Vorschubbewegungen in Kauf genommen werden. Bereits in der Bearbeitung kleiner Werkstücke können – abhängig von der Achsanordnung und der Aufspannsituation – erhebliche Verfahrenswege der linearen und rotatorischen Vorschubachsen entstehen. Da die Abweichungen zwischen der idealen Bewegung und dem tatsächlichen Verhalten einer Vorschubachse mit größer werdendem Verfahrensweg in der Regel zunehmen, stehen Werkzeugmaschinen für die 5-achsige Bearbeitung vor einer besonderen Herausforderung: Die Fertigung präziser Werkstücke setzt eine hohe räumliche Genauigkeit der Werkzeugmaschine voraus.

Im Unterschied zu den Genauigkeitsbetrachtungen einzelner Achsen wird die räumliche Genauigkeit einer Werkzeugmaschine auf der Basis von Messpunkten, welche im gesamten Arbeitsraum verteilt sind, bestimmt. Neben der Positioniergenauigkeit der Einzelachsen werden auf diese Weise auch die Auswirkungen von Kippbewegungen, Rechtwinkligkeitsfehlern und Geradheitsabweichungen der Achsen erfasst.

Positionserfassung entscheidet über Positioniergenauigkeit

Dabei spielt die Positionserfassung in den linearen und rotatorischen Vorschubachsen eine entscheidende Rolle. Werden die Achspositionen lediglich über Drehgeber an den Motoren erfasst und über Getriebeuntersetzungen und Steigungen der Kugelgewindetriebe auf die Position der Vorschubachse umgerechnet, so können deutliche Abweichungen zwischen dem Steuerungsabbild der Maschine und der tatsächlichen Maschinenkinematik entstehen. Die Abweichungen ergeben sich aus thermischen Verlagerungen in den Kugelgewindetrrieben und durch Übertragungsfehler der Getriebe in den Rundachsen, welche besonders in der 5-Achs-Bearbeitung zu signifikanten Fehlern am Werkstück führen können. Die Methode der Positionserfassung über Drehgeber an den Vorschubmotoren wird auch **Semi-Closed Loop Betrieb** genannt, da mechanische Fehler in den Getriebemechanismen nicht über die Regelkreise der Antriebe kompensiert werden können.

TELSTAR, der Spielball der FIFA Weltmeisterschaft mit einer perfekten Oberfläche – gefräst in 3 Bearbeitungsschritten.



Der Closed Loop Betrieb der Vorschubachsen mit HEIDENHAIN Längen- und Winkelmeßgeräten macht es möglich: Präzise Fertigung der Nähte auch mit großen Änderungen der Fräseranstellung.

Ein Fußball als Nachweis für die Genauigkeit der TNC

Die Positioniergenauigkeit und die Wiederholgenauigkeit von Vorschubachsen lassen sich durch den **Einsatz von präzisen Längen- und Winkelmeßgeräten** erheblich steigern. Da die Achspositionen dann nicht mehr am Motor sondern direkt an den Linear- und Rundachsen der Maschine gemessen werden, spricht man auch vom **Closed Loop Betrieb**. Bei entsprechender Ausführung der mechanischen Komponenten einer Werkzeugmaschine können auch unter wechselnden Einsatzbedingungen Genauigkeiten von wenigen μm erreicht werden. Dabei entstehen enorme **Vorteile für die 5-Achs-Bearbeitung**. Bei einer Änderung der Fräseranstellung können Ausgleichsbewegungen exakt verfahren werden, ohne dass die Werkstückkontur fehlerhaft bearbeitet wird.

Die Vorteile einer Positionserfassung über HEIDENHAIN Längen- und Winkelmeßgeräte werden am Beispiel des Telstar Werkstücks besonders deutlich. Telstar ist der Name des ersten zivilen Kommunikationssatelliten, welcher 1962 von der NASA ins All geschossen wurde. Der nach dem Satelliten Telstar benannte Spielball der FIFA Weltmeisterschaft von 1970 und 1974 verfügt über 20 weiße hexagonale und zwölf schwarze pentagonale Panels, ein Muster, das bis heute verwendet wird. Das HEIDENHAIN Werkstück ähnelt der klassischen Form des Telstar Fußballs. Der Ball wurde in 3 Bearbeitungsschritten auf der Basis vorgedrehter Rohlinge hergestellt: dreiachsige Fräsbearbeitung der Fünfecke mit vertikalen Bahnen und angestelltem Fräser, dreiachsige Fräsbearbeitung der Sechsecke mit horizontalen Bahnen und angestelltem Fräser, 5-achsige Fräsbearbeitung der Nähte.

Perfekte Oberflächen und Details demonstrieren Genauigkeit der Maschine

Ein optisch einwandfreies Erscheinungsbild des Telstar Balls setzt voraus, dass die Naht, die Fünfecke und die Sechsecke trotz einer Dauer der Bearbeitung von über 2 Stunden mit hoher Präzision gefräst werden. Über die im NC-Programm vorgegebenen Anstellwinkel des Fräfers zum Telstar Werkstück ergeben sich große Bewegungen der Rund- und Linearachsen, wodurch eine hohe räumliche Genauigkeit erforderlich wird.

Einschränkend für die räumliche Genauigkeit der Maschine wirken Übertragungsfehler und thermische Effekte in der Mechanik der Vorschubantriebe, sofern die Maschine im Semi-Closed Loop betrieben wird. Bei einem Betrieb der Vorschubachsen im Closed Loop werden die Übertragungsfehler der Antriebsmechaniken über die Längenmeßgeräte in den Linearachsen und die Winkelmeßgeräte in den Rundachsen erfasst und können somit von der Steuerung kompensiert werden. Die Vorschubachsen erreichen über ihrem gesamten Verfahrbereich eine sehr hohe Positioniergenauigkeit und eine optimale Wiederholgenauigkeit. Damit können benachbarte Bereiche auf dem Werkstück auch mit großen Änderungen der Fräseranstellung und mit erheblichem Zeitabstand zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten präzise gefertigt werden.

Die Potentiale bezüglich der räumlichen Genauigkeit einer Maschine zeigen sich besonders in der Nut, welche die Nähte des Telstar Balls nachbildet. Mit dem Durchmesser des Fräfers von 25 mm und der geringen Tiefe der Nut von 0,15mm würden sich bereits kleinste Fehler von $\pm 10 \mu\text{m}$ und weniger in deutlichen Schwankungen der Nahtbreite auswirken. Die erreichbare Präzision bei einem Betrieb der Vorschubachsen im Closed Loop wird vor allem an den Schnittpunkten der Nahtbahnen deutlich: Auch bei starker Änderung der Fräseranstellung in den Einzelnähten wird der Schnittpunkt der Nähte mit jeder Fräsbewegung dank der Präzision von HEIDENHAIN Längen- und Winkelmeßgeräten exakt getroffen. +