

Die erste flächig geführte Fräsmaschine der Welt

Technologiesprung für Werkzeugmaschinen

In der Produktionstechnik ist weiterhin ein Trend zu höherer Genauigkeit und Preisdruck zu verzeichnen. Dies erfordert Maschinen, welche die Genauigkeit bei hoher Produktivität erreichen und ausserdem kostengünstig sind. Durch neuartige Maschinen- und Führungskonzepte ist dies möglich, indem beispielsweise die Anzahl der erforderlichen hochgenauen Maschinenteile reduziert wird oder indem der Einfluss der Unsicherheit einzelner Komponenten auf die Gesamtunsicherheit verringert wird.



Weltpremiere an der Prodex: Präzoplan 300 – die erste flächig geführte Fräsmaschine.

Ein eigentlicher Technologiesprung ist jedoch nur durch ein fundamental neues Konzept möglich, da bei bestehenden Konzepten die Möglichkeiten der Verbesserung weitgehend ausgereizt sind. Das fundamental neue Konzept hierfür wurde an der inspire AG im

ETH-Zentrum unter der Bezeichnung Präzoplan entwickelt. Die Maschine basiert auf einem neuartigen Führungssystem, bei dem ein einziger Schlitten zwei Bewegungsrichtungen erzeugt, indem er nicht linear, sondern flächig auf einer höchst präzisen Ebene geführt wird. Er schwebt auf einem aerostatischen Lager hoher Steifigkeit unmittelbar auf dieser Führungsfläche.

Beim konventionellen Kreuztisch-Konzept werden zwei Bewegungsrichtungen erzeugt, indem zwei Line-

rachsen aufeinandergestapelt werden. Diese Anordnung ist bei allen konventionellen Werkzeugmaschinen anzutreffen und erzeugt eine Addition der Ungenauigkeiten, der Herstellungskosten und der zu bewegenden Massen.

Dies wird durch das Präzoplan-Konzept der flächigen Führung umgangen. Dies führt zu einer hohen Präzision und hoher Produktivität bei einem niedrigen Preis.

Premiere auf der Prodex

Dieses Konzept ist eine Erfindung von Dipl.-Ing. S. Jaumann und wird im Rahmen einer Dissertation zu einer seriennahen Maschine entwickelt. Ein Prototyp der flächigen Führung wurde als Demonstrator auf der Messe Prodex 08 in Basel ausgestellt. 2009 erfolgten geometrische Messungen sowie Probeläufe und Analysen des dynamischen Verhaltens. Dabei wurde die Technologie gefestigt und bereits einzelne Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet. 2009 wurde ein KTI-Startup angemeldet sowie ein KTI-Projekt zur technischen Umsetzung der serienreifen Maschine lanciert.

Die Maschine wird 2010 zu einer dreiachsigen Höchstpräzisionsfräsmaschine weiterentwickelt. Entsprechend geänderter Anforderungen durch den geplanten Einsatz als Formenbau-Fräsmaschine wurden die Genauigkeit, die Tragfähigkeit und die Steifigkeit beträchtlich gesteigert. Diese Maschine wird nun auf der Prodex als Präzoplan 300 auf dem Stand der EMA GmbH ausgestellt. Die EMA GmbH ist sowohl Projektpartner im KTI-Projekt, indem sie die Hauptspindel beisteuert, als auch zukünftiger Vertriebspartner.

Das Maschinen-Konzept

Der Präzoplan ist eine flächig geführte dreiachsige Fräsmaschine mit

Autor

Dipl.-Ing. Sascha Jaumann,
Jaumann-Werke, Zürich

Möglichkeit zur Aufrüstung zur 4- und 5-Achs-Maschine. Die beiden horizontalen Achsen (X und Y) werden durch den flächig geführten Schlitten gebildet. Er hat eine horizontale werkstückseitige Aufspannfläche. Eine Vertikalachse (Z) trägt die ebenfalls vertikal angeordnete Motorspindel.

Als Maschinenbasis dient ein gross dimensionierter Naturgranit. Er hat auf seiner Oberseite eine präzisionsgeläppte Fläche mit höchster Ebenheit, die als Führungsfläche für den flächig geführten Schlitten dient, vergleichbar mit einer Messplatte höchsten Genauigkeitsgrades. Die flächige Führung ist aerostatisch, hierzu hat der Schlitten unmittelbar auf seiner Unterseite aerostatische Führungsbereiche. Über die flächige Aerostatik wird die Führung in vertikaler Richtung und das Nicken und Rollen sehr präzise geführt. Für die Freiheitsgrade in horizontaler Richtung sowie für das Gieren ist eine Traverse verantwortlich, die den flächig geführten Schlitten verschiebt und antreibt. In der X-Richtung ist direkt am flächig geführten Schlitten ein Kugelgewindetrieb angekoppelt, in der Y-Richtung wirkt eine ebenfalls aerostatische Seitenführung zwischen flächig geführtem Schlitten und Traverse. Somit hat der Schlitten aerostatische Seitenführungen, die ebenfalls unmittelbar in den Schlitten eingearbeitet sind, und läuft gegen eine präzisionsgeschliffene Seitenfläche der Traverse. Diese Seitenführung ist ihrerseits durch einen aerostatischen Umgriff vorgespannt und kann so die Freiheitsgrade der Y-Richtung und des Gierens mit sehr hoher Steifigkeit gegenüber der Traverse führen. Durch diese aerostatische Anordnung wird keinerlei Zwang zwischen der hochsteifen Traverse und der flächigen Führung induziert; vertikale Freiheitsgrade sind entkoppelt.

Die Traverse ist ihrerseits in der Y-Richtung beweglich und dient somit als Kulissenführung für den Schlitten. Auch die Traverse ist konsequent aerostatisch auf der Maschinenbasis aus Naturgranit geführt. Sie hat eine Seitenführung, die die gesamte Seitenfläche des Granits zur Absetzung der Vorschubkräfte für die X-Richtung



Die Maschinenstruktur. Deutlich erkennbar ist in der Bildmitte der flächig geführte Schlitten auf dem Granitbett.

ausnutzt. Hierfür ist der Granit auf Rechtwinkligkeit und Ebenheit auf der Seite ebenfalls präzisionsgeläpft.

Unmittelbar an die hintere Seitenfläche des Naturgranits ist ein sehr stark dimensionierter Ständer angeflanscht, der die Vertikalachse trägt. Dieser Ständer bildet zusammen mit einem Gegenhalter ein Portal in einer geschlossenen O-Anordnung, indem der Gegenhalter die Struktur zur vorderen Granit-Seitenfläche schliesst. Durch einen seitlichen Versatz dieses Gegenhalters bleibt der Arbeitsraum von vorne und von links, somit von zwei Seiten, weitgehend zugänglich. Eine Z-Achse in Pinolenanordnung, wobei die Pinole die Führungsschienen trägt und die Motorspindel direkt eingetopft ist, weist hierbei ein ideales Steifigkeits-Massenverhältnis auf. Durch eine neue Anordnung von vier zueinander parallelen Führungsschienen kann die Genauigkeit der Pinolenführung erhöht werden und auch mit Kugelführungsschienen der hohen Genauigkeit der

anderen aerostatisch geführten Achsen nahe kommen.

Die Maschinenstruktur ist auf ein Grundgestell montiert, welches aus einer Stahlschweisskonstruktion besteht und auf Luftfeder-Dämpferelementen aufgestellt ist. Zur Erhöhung der Massendämpfung kann es mit Sand gefüllt werden.

Hohe Anforderungen an die Aerostatik

Üblicherweise wird Aerostatik bei Messgeräten eingesetzt und bei Positionieraufgaben allerhöchster Präzision aufgrund der völligen Reibungsfreiheit und daher ausgezeichneten Wiederholgenauigkeit. Der übliche Aufbau eines Schlittens mit einer Vielzahl kleiner, zueinander mittels Stellschrauben ausnivellierter Aerostatikpads hat jedoch kein grosses Potenzial für hohe Steifigkeit. Steifigkeit ist jedoch eine Hauptanforderung an Fräsmaschinenführungen, weshalb für den Präzoplan eine eigens entwickelte Aerostatik neuer Bauart zum Einsatz kommt. Unmit-

telbar auf dem massiven Führungsschlitten werden aerostatische Führungsbereiche mit sehr guten Notlauf Eigenschaften durch eine neue Fertigungstechnologie hergestellt. Die Luftversorgung erfolgt durch etwa 500 Luftdüsen mit einem hydraulischen Durchmesser von 30 µm und einer Länge von 8 mm, wodurch eine laminare Strömung ermöglicht wird. Die Luftdüsen sind in patentierten Düseneinsätzen enthalten, die auf der aerostatischen Führungsfläche appliziert sind. Dadurch ist ein ausserordentlich grosses, einteiliges Luftlager auf einem einzigen, massiven Schlittenkörper serienmässig herstellbar, der ein sehr grosses Steifigkeitspotenzial bietet und sich aufgrund seiner grossen Fläche auch dynamisch sehr stabil verhält. Aufgrund der Auslegung als Mikrodüsenluftlager trägt die Steifigkeit solch eines Schlittens mehrere 1000 N/µm bei einem sehr geringen Luftverbrauch von etwa 20 NI/min und völliger Reibungsfreiheit. Mit dieser Aerostatik sind alle Führungen des X-Y-Führungssystems, bestehend aus flächig geführtem Schlitten und Traverse, ausgestattet.

Antriebe und Messsystem

Der Achsantrieb erfolgt in allen Achsen mittels Kugelgewindetrieben neuester Generation. Der X-Antrieb hat eine angetriebene Mutter und die Y-Achse einen Gantryverbund. Die flächige Führung ist keine Stapelanordnung, weshalb der Massenmittelpunkt des Schlittens mit der Antriebskinematik in einer Flucht liegt. Dies bewirkt eine extrem schnelle, schwingungsarme Positionierung. In allen Achsen sind Linear massstäbe verbaut. Ausserordentlich kleine Offsets ergeben sich zwischen ihnen und dem TCP durch den niedrigen Achsaufbau im Vergleich zu einem gestapelten Kreuztisch. Dadurch wirken sich rotatorische Abweichungen nur in geringem Ausmass auf die Positioniergenauigkeit aus.

Innovative Achs-abdeckung

Das flächige Führungssystem der X- und Y-Achse wird durch ein neuartiges Schieblech vor eindringenden

Spänen, Schmutz und Kühlschmierstoff geschützt. Ein einteiliges und somit sehr gut abdichtendes Stahlband ist in einer Richtung zwischen einer Abstreiferanordnung geführt und in der anderen Richtung aufrollbar. Das zweiachsige Bewegungsprinzip wurde auch hier konsequent umgesetzt mit dem Vorteil eines stapelfreien, sehr niedrigen Aufbaus und sehr geringen Massen. Durch das Aufrollen kann der Bauraum der Abdeckung in einer Richtung sehr kompakt ausgeführt werden. Geometrisch bleibt viel Platz für eine steife Maschinenstruktur und für eine perfekte Ergonomie. Von vorne kann der Maschinenbediener an den Schlitten mit seinen aufgespannten Werkstücken sehr dicht herantreten, ohne sich weit in die Maschinen hineinbeugen zu müssen. Die Arbeitsraumverkleidung umfasst ferner eine leicht zu reinigende Verschalung aus Edelstahl, einen Abstreifer für die Pinole von oben und eine perfekt positionierte Arbeitsraumausleuchtung.

Kompakte Verkleidung

Die Verkleidung ist mit knappen 2x2 m sehr kompakt und umfasst ausser dem Kühlgerät alle Aggregate der Maschine. Dabei ist der Unterteil als Wanne ausgeführt, in der die gesamte Maschinenstruktur hineingestellt ist. Durch diese Bauart wird die niederfrequente, dämpfende und schwin-

gungsisolierende Aufstellung der Maschine ermöglicht, die Maschine kann innerhalb der Verkleidung auf ihren Luftfeder-Dämpferelementen frei schwingen. Ferner ist der Unterteil der Maschine als Wanne ausgeführt, was höchste Dichtigkeit gegen austretenden Kühlschmierstoff verspricht. Die Verkleidung ist Teil des Thermokonzeptes und kapselt die Maschine vollständig gegenüber Umgebungseinflüssen und gegenüber Emissionen. Ein Kühlschmierstoffaggregat ist in der Wanne untergebracht, die Späneentsorgung erfolgt in der Basisausführung durch eine gut zugängliche Späneauffangvorrichtung. Die Schutztüren können übers Eck geöffnet werden, wodurch sich der Arbeitsraum vollständig öffnet und das Werkstück sehr gut zugänglich ist. Das Ergonomiekonzept umfasst weiterhin die perfekte Arbeitsraumhöhe, dass der Bediener ohne Herunterbeugen feinste Details seiner Bearbeitung erkennen kann, was insbesondere im Einsatz als Höchstpräzisionsfräsmaschine sehr wichtig ist.

Standardausstattung und Optionen

Standardmässig ist die Maschine mit einer Arbeitsspindel mit Lebensdauerfett schmierung ausgestattet, was die Bearbeitung von Grafit und staubenden Materialien erleichtert. Die

Technische Daten

Geometrie	Achshöhe X, Y, Z = 300, 300, 300 mm Aufspannfläche 325 x 275 mm Maschine mit Schaltschrank 1998 x 1986 x 2640 mm (l x b x h)
Statik	Tischzuladung 25 kg (Erhöhung auf Anfrage) Maschinengewicht 4,8 t
Dynamik (X, Y, Z)	Vorschubgeschwindigkeit 60 m/min Beschleunigung 25 m/s ² Ruck 1500 m/s ³
Präzision	Positionsunsicherheit P ±1 µm (VDI/DGQ 3441) Positionsstreuung PS ±0,4 µm
Führungssystem	XY-Aerostatik Steifigkeit 3200 N/µm, Luftverbrauch 50 NI/min X-Aerostatik Steifigkeit 3500 N/µm, Luftverbrauch 50 NI/min Y-Aerostatik Steifigkeit 1600 N/µm, Luftverbrauch 90 NI/min Z-Kugelschienenführungen Lh = 20000 h
Antrieb	ETA+ – KGT Ø25, X-Achse angetriebene Mutter, Y-Achse Gantry Auslegung Lh = 20000 h
Arbeitsspindel	HSK-E 40, Drehzahl 35000 U/min Antriebsleistung 8 kW (S6-60%) (Spindelvarianten auf Anfrage)
Steuerung	Sinumerik 840-D
Messsystem	Linear massstäbe in allen Achsen Auflösung 0,1 µm

Spindel erreicht mit HSK-E40 35000 U/min und ist mit einer Leistung von 8 kW im S6-60% auch zum Schruppen geeignet. Die Spindel wird durch ein hysteresearmes Kühlaggregat temperiert.

Auf der rechten Seite des Arbeitsraumes befindet sich ein Werkzeugwechselsystem mit 30-fachem Scheibenmagazin und schnellem Werkzeugwechsler. Aufgrund der hohen Dynamik ist eine Span-zu-Spanzeit nach VDI2582 von 2,5 s möglich. Anstelle des Scheibenmagazins kann das System durch Kettenmagazine auf 50 und 100 Plätze erweitert werden.

Die linke Seite des Arbeitsraumes ist zum automatischen Werkstückwechsel vorgesehen. Hier können unterschiedliche Beladesysteme angeboten werden. Das standardmässige

Kühlschmierstoffaggregat kann durch einen Späneförderer nach hinten ersetzt werden oder durch eine Absauganlage für anfallenden Staub bei der Bearbeitung. Späne kontaktieren nicht die Maschinenstruktur, wodurch eine Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung bei thermischer Stabilität ermöglicht wird.

Eine Ultransoption ist ab Mitte 2011 verfügbar. Die ohnehin sehr gute Genauigkeit der Maschine kann noch einmal beträchtlich gesteigert werden mit einer Positioniergenauigkeit im sub- μm -Bereich. Es sind weitere zahlreiche Optionen in der modularen Bauweise vorgesehen, um die Maschine für verschiedene Anwendungen zu optimieren. So kann die Maschine zu einer idealen Formbau-Fräsmaschine, zur dynamischen Grafitbearbeitung, zur Produktions-

fräsmaschine für mittlere Serien von Hochpräzisionsteilen oder zur ergonomischen Werkstattmaschine für sehr hohe Genauigkeit konfiguriert werden. (mg)

Infos

JAUMANN-Werke
8057 Zürich
076 2890523
jaumann@jaumann-werke.com
Prodex: Halle 1.1, Stand L13

inspire AG
8092 Zürich
044 632 40 73
www.inspire.ethz.ch