

Temperierung für ultrapräzise Maschinen

Um eine hohe Temperaturstabilität zu gewährleisten, werden die Achsen und Motorspindeln von **ULTRAPRÄZISIONSMASCHINEN** hochgenau gekühlt. Als besonders präzise und wirtschaftlich erweist sich eine neue Lösung zur Temperierung des Maschineninnenraums.



Bild 1. Maschineninnenraum einer »MTC650« mit integrierter Luftzuführung (oben rechts) und Absaugung mit Vorfilterstufe (unten rechts)

KURT HASKIC

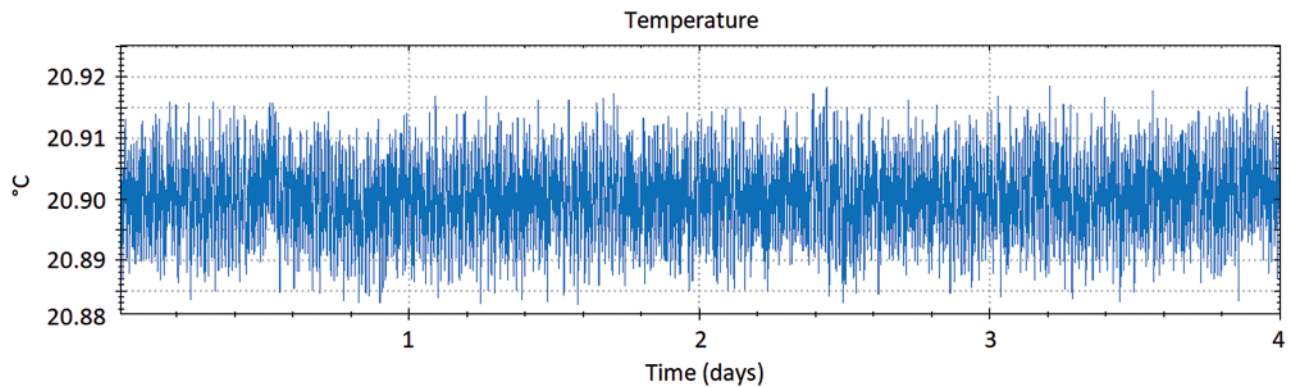
Temperaturschwankungen wirken sich negativ auf die Formgenauigkeit von Werkstücken aus.

In Ultrapräzisionsmaschinen werden daher die Spindeln hochgenau gekühlt. Mittlerweile existieren kommerzielle Lösungen, die eine Langzeitstabilität im Bereich von 10 bis 20 mK erlauben. Erforderlich ist diese Kühlung, da fast alle Spindeln aus Messing und Stahl aufgebaut sind. Temperaturschwankungen fließen über den Wärmeausdehnungskoeffizienten hier direkt ein und können zum Beispiel bei UP-Drehmaschinen zu Formfehlern am Werkstück führen. Ein weiterer Aspekt, der bei hydrostatisch gelagerten Maschinen beachtet werden muss, ist die Temperierung des Hydrauliköls. Bei der Verwendung eines Granitbetts mit Granitlagerflächen ergeben sich hier

Vorteile: Granit hat hervorragende schwingungsdämpfende Eigenschaften und verhält sich thermisch sehr träge. Kurzfristige Temperaturschwankungen werden somit gar nicht erst angenommen, weswegen die Temperierung des Hydrauliköls weniger kritisch ist als die der Spindel. Wesentlich empfindlicher sind diesbezüglich Anlagen, die mehrheitlich aus Stahl oder Guss bestehen.

> KONTAKT

HERSTELLER
LT Ultra-Precision Technology GmbH
 D-88634 Herdwangen-Schönach
 Tel. +49 7552 40599-0
 info@lt-ultra.com
www.lt-ultra.com



Auswirkungen von Temperaturschwankungen

UP-Maschinen erfüllen all diese Anforderungen. Doch wie sieht es mit der Maschinenumgebung aus? Eine Schwankung der Umgebungstemperatur führt unweigerlich zu Dimensionsänderungen der Werkstücke. Dies mag bei kleinen Teilen nicht sonderlich ins Gewicht fallen, bei großen Werkstücken aber sieht es anders aus. Ein Rechenbeispiel: Kupfer hat einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von circa $16,5 \times 10^{-6}/K$. Eine Temperaturänderung von 1 K führt demnach bei einer Werkstücklänge von 100 mm zu einer Änderung von $1,65 \mu m$. Je nach Toleranz bedeutet das im Ultrapräzisionsbereich bereits Ausschuss. Oft genug gibt es auch Fertigungsumgebungen, wo die Schwankungen bis zu $\pm 4 K$ betragen. Für Kupfer entspricht dies einer Längenänderung von circa $\pm 6,6 \mu m$.

Mit einer »MTC650« (Bild 1) von LT Ultra lassen sich Werkstücke bis 1000 mm Durchmesser fertigen.

Bei einer Temperaturänderung von 1 K ergibt sich hier eine theoretische Längenänderung von $16,5 \mu m$. Mit der Luftklimatisierungslösung von LT Ultra lässt sich eine Temperaturkonstanz von bis zu $\pm 20 mK$ erreichen (Bild 2). Diesem Wert entspricht eine theoretische Längenänderung von $0,33 \mu m$ bei einem Werkstück mit 1 m Länge.

Die Motivation

In der Dämmung der Maschineneinhausung wird oft ein preiswerter Weg gesehen, den Einfluss der Umgebungstemperatur zu minimieren. Bei jedem Fertigungsprozess entsteht Wärme – und dies direkt im Bearbeitungsraum. Ein großer Teil der Wärme kann abgeführt werden, sei es über einen gekühlten Chuck oder andere Hilfsmittel, der andere Teil aber geht unweigerlich in den Maschineninnenraum.

Die einzige Lösung ist hier, die Luft zu temperieren. Viele Klimaspezialisten bieten Konzepte und Lösungen an, um komplette Räume oder Hallen

Bild 2. Lufttemperatur in Werkstücknähe während der Bearbeitung mit einer UP-Fräsmaschine »MMC900H«

Das wachsamste Ohr für spannende Bearbeitungen



In der Zerspangung wirken auf die Schneide häufig hochdynamische Kräfte, die Sie nur mit Dynamometern von Kistler im Blick haben. Unsere piezoelektrischen Sensoren messen die Zerspankräfte während der Bearbeitung zuverlässig und präzise – und gewähren Ihnen damit tiefe Einblicke in Ihren Zerspanungsprozess. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen Ihnen dabei, die Qualität und Wirtschaftlichkeit Ihrer Werkzeuge und Zerspanprozesse nachhaltig zu optimieren.



**Bild 3. Benötigt nur wenig Aufstellfläche:
die Maschineninnenraumtemperierung
von LT Ultra**

temperaturstabil auf ± 1 K zu bringen, einige sogar auf $\pm 0,1$ K. Der Aufwand, der dafür betrieben werden muss, ist oft enorm. Er reduziert sich jedoch erheblich, sobald das zu temperierende Volumen verringert wird. Ein kleiner Raum braucht nicht nur weniger Kühlleistung, er lässt sich auch besser durchmischen, und der Volumenstrom muss nicht so hoch sein. Ein weiteres Rechenbeispiel: Ein Raum mit $5 \times 5 \text{ m}^2$ Fläche und 3 m Höhe ist groß genug, um eine Maschine unterzubringen. Das entsprechende Volumen beträgt 75 m^3 . Demgegenüber hat der Innenraum einer

typischen UP- oder konventionellen Maschine ein Volumen von circa 1 bis 2 m^3 .

Die Lösung

Statt den ganzen Raum zu temperieren, besteht die Lösung darin, dies nur für den Maschineninnenraum zu tun. Dafür stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, es gibt aber auch Streitpunkte, welches die beste Lösung ist. Hier soll die Maschineninnenraumtemperierung von LT Ultra-Precision Technology (**Bild 3**) mit ihren Vor- und Nachteilen gegenüber anderen Konfigurationen dargelegt werden. Grundsätzlich lässt sich das System durch folgende Punkte beschreiben:

- Umluftbetrieb mit geringer Frischluftbeimengung,
- Regelung auf Lufttemperatur in direkter Werkstücknähe,
- mehrstufige Filterung der Luft mit Abscheidung (auch Reinraumfilter),
- Explosionssicherheit nach Atex,
- hochgenaue Regelkreise zur Temperierung des Trägermediums,
- kompakter Wärmetauscher,
- Beistellgerät (somit auch als Nachrüstsatz umsetzbar).

Der Umluftbetrieb vereinfacht das Einhalten konstanter Randbedingungen, weil die Luft in der Maschine umgewälzt wird und nur eine geringe Frischluftbeimengung erforderlich ist. Bei Bauformen, die ständig Luft von außerhalb ansaugen, muss diese permanent auf Temperatur gebracht werden, teilweise mit hoher Kühl-/Heizleistung. Im Umluftbetrieb muss nur das Temperaturdelta aus dem Prozess und die über die Kabine aufgenommene Umgebungswärme kompensiert werden. Versuche mit UP-Fräsmaschinen belegten mit Umluftbetrieb eine Energieersparnis von mindestens 25 Prozent gegenüber Lösungen, die ausschließlich Frischluft temperieren.

Zugleich sorgt die Luftzirkulation auch für das Entfernen von Sprühnebel und luftgängigen Spänen aus dem System. Dies vereinfacht die Maschinenreinigung und kommt der Gesundheit des Maschinenbedieners zugute. Um ein sicheres Arbeiten mit entzündlichen oder explosiven Kühlschmierstoffen zu gewährleisten, erfüllt das Beistellgerät von LT Ultra die Atex-Richtlinie. Für den Einsatz im Rein- oder Grauraum gibt es entsprechende Filterstufen.

Footprint von circa 1 m^2

Die Temperatur wird über die Vorlauftemperatur des Kühlmediums direkt anhand einer werkstücknahen Sonde geregelt. So ist sichergestellt, dass an der kritischen Stelle eine konstante Temperatur herrscht. Die Einträge aus der Umgebung und dem Prozess werden berücksichtigt. Gängige alternative Temperierungskonzepte setzen hier oft auf eine asymptotische Annäherung oder eine Regelung im Luftzulauf. Bei einer asymptotischen Temperaturregelung ist jedoch eine erhebliche Kühlleistung mit einem großen Wärmetauscher erforderlich, was unter Industriebedingungen oft nicht alltagstauglich ist.

Das System ist als Beistellgerät umgesetzt, das neben die zu temperierende Maschine gestellt wird. Das System, mit einem Footprint von circa 1 m^2 , kann auch bei bestehenden Anlagen nachgerüstet werden. Bei Maschinen von LT Ultra lassen sich die

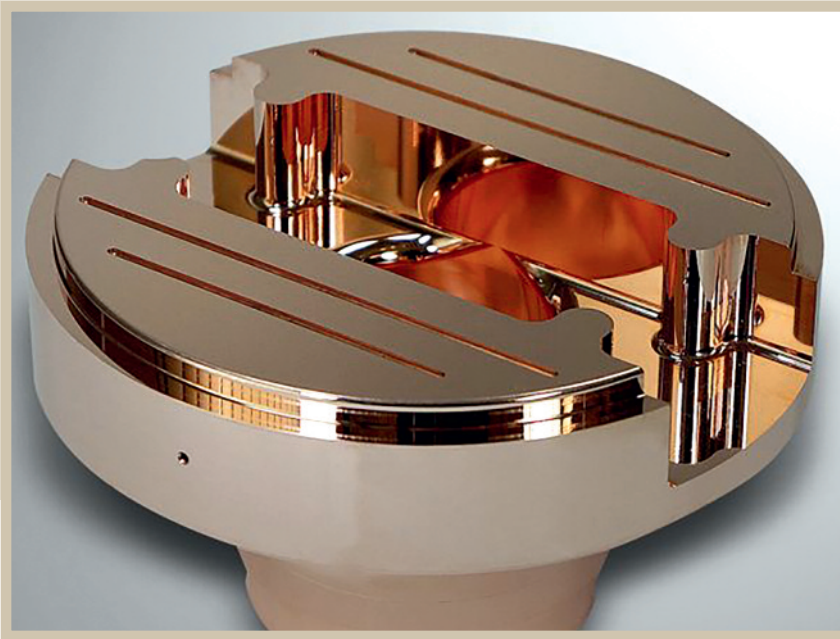


Bild 4. UP-gefrästes Bauteil in Kupfer, dank der hochgenauen Temperierung des Maschineninnenraums auch im Mehrschichtbetrieb fertigbar

Betriebsdaten nachträglich voll in Steuerung und HMI integrieren. Die erste Filterstufe befindet sich in der Maschine und kann vom Maschinenbediener gereinigt werden. Dies schont die Lebensdauer der Hepa-Filter.

Für die schnelle Amortisierung des Systems gibt es verschiedene Ansatzpunkte. Dass sich auch anspruchsvollere Teile mit längerer Laufzeit, größeren Abmessungen oder engeren Formtoleranzen fertigen lassen, reicht für viele Anwender schon aus. Hinzu kommt die Maschinenauslastung. Anwender fahren ihre UP-Anlagen oft im Einschichtbetrieb, weil die Temperaturschwankungen vom Tag zur Nacht ein Mehrschichtsystem nicht zulassen (**Bild 4**). In Kombination mit Automatisierungslösungen von LT Ultra lässt sich in solchen Fällen die Produktivität erheblich steigern.

LT Ultra hat mit diesem Aufbau bei Anwendern weltweit wie auch bei firmeneigenen Maschinen im Dienstleistungssektor eine Langzeitstabilität der Temperatur von bis zu ± 20 mK umgesetzt.

Eingebunden in die Forschung

Das System wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ›3D-Blaze‹ (Erzeugung hochgenauer optischer Strukturen im Nanometerbereich für hoch-effiziente Breitband-Hybridoptiken) durch die Förderinitiative ›KMU-innovativ: Produktionsforschung‹ (Bundesministerium für Bildung und Forschung) gefördert. Kooperationspartner waren das Fachgebiet Mikro- und Feingeräte der Technischen Universität Berlin und Carl Zeiss Jena. Aktuell findet das System Anwendung im laufenden Forschungsprojekt ›Thetala‹ (Aufbau einer Fertigungsstruktur für thermisch stabile Luftlager und Spindeln für die Ultra-Präzisions-Bearbeitung), gefördert durch KMU-innovativ: Produktionsforschung. ■ MI110665

AUTOR

Dr.-Ing. KURT HASKIC ist zuständig für Forschung und Entwicklung bei LT Ultra-Precision Technology in Herdswangen-Schönach; kurt.haskic@lt-ultra.com



KINGFISHER

DER COOLE

Die Neuheit unserer VHM-Fräser für schwer zerspanbare Materialien in der Medizintechnik mit leicht schneidender, stabiler Geometrie sowie Innen- oder Schaftkühlung. Die raffiniertesten ihrer Art.

www.zecha.de



