Mehr Genauigkeit
Endeffektoraufbau mit T-Mac zur Laser-Tracker-geführten Fräsbearbeitung eines Flugzeugseitenleitwerks in der Forschungsanlage des Fraunhofer IFAM in Stade.

Bild: Fraunhofer IFAM

Messtechnik macht's möglich

Roboter gelten als zu ungenau für Bearbeitungsaufgaben. Messtechnik kann das immer öfter ausgleichen

SUSANNE NÖRDINGER
PRODUKTION NR. 38, 2017

LANDSBERG. Werkzeugmaschinen arbeiten hochpräzise, Roboter hochflexibel. Dieser Grundsatz gilt auch heute noch. Roboter sind dennoch – auch aufgrund von Neuentwicklungen im Bereich der Messtechnik – eindeutig zerspanungsfähig. Laut Alexander Bay, Marktsegment Manager CNC/Machining bei **Kuka Robter**, wird das Marktpotenzial für die Roboterbearbeitung in den nächsten Jahren weiter steigen. „Bisher standen vor allem Bearbeitungsprozesse mit relativ niedrigen Genauigkeitsansprüchen im Fokus", erläutert der Bearbeitungsexperte. Diese Prozesse würden heute noch oftmals von Menschen ausgeführt. Durch zunehmenden Kostendruck oder gleichmäßige Qualitätsanforderungen würden solche Prozesse zukünftig vermehrt maschinell und automatisiert umgesetzt. „Des Weiteren werden Roboter zunehmend genauer und spezielle Varianten auch prozessstabiler, wodurch sich für die roboterbasierte Bearbeitung neue, erweiterte Möglichkeiten ergeben", resümiert Bay.

„Stand der Technik beim Bearbeiten per Roboter ist die spanende Bearbeitung von Stein, Holz, Kunststoffen und Aluminium sowie das Gussputzen oder die Kantenbearbeitung an Stahlwerkstoffen", berichtet Sascha Reinkober, Forscher am **Fraunhofer IPK**. Besonders die Kantenbearbeitung weise eine relativ hohe Verbreitung in der Industrie auf. Operationen wie robotergeführtes Fräsen oder Bohren werden laut Reinkober in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Weiterhin werden neue Prozess wie das robotergeführte Honen dazukommen. Aber auch die Bearbeitung von CFK per Roboter rückt in den Fokus. „Die Anwender wagen sich auch mehr an harte Materialien wie Stahl oder Nickelbasislegierungen", sagt Reinkober. Trotzdem bleibt die Genauigkeit von Robotern der limitierende Faktor. „Dies wird sich aufgrund der verfügbaren Kinematiken nicht ändern, sondern nur minimieren lassen", erläutert Reinkober.

Forscher am **Fraunhofer IFAM** haben beispielswiese einen Laser Tracker-Regelkreis entwickelt, um das Genauigkeits-Problem zu lösen. „Mithilfe der in Industrierobotern verbauten Sensoren können nicht alle zu Positionierfehlern führenden Effekte erfasst werden, beispielsweise die Verbiegung der Roboterglieder und Getriebeelastizitäten aufgrund von Prozesskräften", erklärt Projektleiter Christian Möller. Bei dem vom Fraunhofer IFAM, Stade, entwickelten Laser-Tracker-Regelkreis wird die Endeffektorlage gemessen und in Echtzeit in die Robotersteuerung zurückgeführt.

»Das robotergestützte Fräsen birgt großes Potenzial für den Presswerkzeugbau. Die Herausforderung ist jedoch die Ungenauigkeit des Roboters.«

Clemens Kuhn, Doktorand bei der Adam Opel AG

„Die Robotersteuerung berechnet mittels dieser zusätzlichen Information kontinuierlich Korrekturwerte zur Anpassung der Roboterbahn", berichtet Hans Christian Schmidt, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter an dem Projekt forscht. Der Industrieroboter wurde auf Basis eines Mabi Max 150 und einer Siemens Sinumerik 840D sl CNC-Steuerung aufgebaut. Die Messung der Endeffektorposition und -orientierung erfolgt mit einem Leica Absolute Tracker AT960 XR und einem T-Mac TMC30-B als Messziel in Echtzeit. Die Messdaten werden dafür über die Echtzeitbussysteme Ethercat und Profinet RT zwischen Laser Tracker und der Robotersteuerung ausgetauscht, teilt das Fraunhofer-Institut mit.

Auch die **Adam Opel AG** arbeitet daran, Bearbeitungsaufgaben per Roboter durchzuführen. Konkret entwickelt der Autobauer eine Roboterzelle für die Automation der Prozesse ‚Fräsen', ‚Auftragschweißen', ‚maschinelles Oberflächenhämmern' und ‚Scannen'. Ziel ist es, mit dieser Roboterzelle Änderungen an den Presswerkzeugen zeit- und kostenoptimal durchführen zu können. „Unser spezielles Augenmerk liegt auf dem Scannen und Fräsen", teilt Clemens Kuhn, Doktorand bei der Adam Opel AG, mit. Zusammen mit dem **PTW der TU Darmstadt** und dem Fraunhofer IPK arbeitet man an Lösungen, um den Prozess zu beherrschen: „Zum einen ist es wichtig, die exakte Lage des Werkzeuges und des Werkstückes zu kennen", sagt Kuhn. Hierfür messe man einen Funkmesstaster über einen Laser mit einer 5-Achsmessung ein, um mit diesem die Lage des Werkstückes im Koordinatensystem des Roboters zu bestimmen. Der Tool Center Point (TCP) des Fräsers werde mit derselben 5-Achsmessung bestimmt. „Mit dem Einmessen des TCPs werden Abweichungen, bedingt durch Temperaturunterschiede, kompensiert", erklärt der Doktorand. Mit den optimalen Prozessparametern sorge man für einen bestmöglichen Fräsprozess, die Eliminierung von Rattererscheinungen und die Vermeidung der Eigenfrequenzanregung des Roboters. Die richtige Frässtrategie – geometrie- und lastabhängig – sorgt laut Kuhn ebenso für ein besseres Fräsergebnis. „Achsspiele und die Nachgiebigkeit werden durch mathematische Modelle des Roboters kompensiert, damit die Ist-Roboterbahn exakt der Soll-Roboterbahn entspricht", erläutert Kuhn. Nach dem Fräsprozess wird das Werkstück mit einem Laserlinienscan-

Umfrage

So lässt sich das Genauigkeitsproblem beim Bearbeiten per Roboter lösen

1

Bild: Preccon

Tool Center Point automatisiert bestimmen
Mit dem Inline Messsystem (IMS) präsentiert die **Preccon Robotics** GmbH ein gemeinsam mit der teconsult GmbH precision robotics entwickeltes Diagnosesystem für Roboterzellen. IMS überwacht den Zustand des Roboters und des Roboterwerkzeuges während des Produktionsprozesses. Veränderungen am Roboter und am Roboterwerkzeug werden erkannt, protokolliert und an den Anlagenbediener gemeldet. Mit der Funktion Wiederherstellung kann der Anlagenbediener den Roboter und das Roboterwerkzeug auf den ursprünglichen Zustand zurückführen.
Das System wurde bereits in Roboterapplikationen verschiedener Kunden integriert. Einer dieser Anwendungsfälle sind flexible und sehr präzise Bearbeitungszellen. Die Zellen sind standardmäßig mit einem Bearbeitungsroboter TX90, einer Bearbeitungsspindel, Wechselbahnhof zum automatisierten Wechsel der Fräser sowie einem synchron mit dem Roboter arbeitenden Drehtisch zur Aufnahme des Werkstückes ausgestattet. Die Fräsprogramme für den Roboter inklusive externer Achse werden offline erzeugt.
Das System bietet wichtige Optionen für Bearbeitungsaufgaben. So kann es automatisiert den Tool Center Point des Werkzeugs am Roboter bestimmen. Auch das Einmessen des zu bearbeitenden Werkstücks in Bezug zum Roboter oder das Einmessen externer Achsen ist möglich.

2

Bild: Fraunhofer IFAM

7DoF-Messung mit einem Lasertracker
Um die Position und Orientierung zum Beispiel eines Fräswerkzeugs während der Bearbeitung zu detektieren, wird ein Leica T Mac an der Werkzeugspindel montiert, um 6DoF-Messungen durchzuführen (DoF = Degrees of Freedom, auf Deutsch Freiheitsgrade). Dies teilt **Hexagon Manufacturing Intelligence** mit. Über das Echtzeitbussystem Ethercat können Posedaten des Endeffektors im Millisekundentakt an die CNC-basierte Maschinensteuerung des Roboters übertragen werden, aus denen der Bahnfehler des Roboters berechnet wird. Diese Daten enthalten neben den geometrischen 6DoF-Posedaten auch eine hochpräzise Zeitmessung, sodass hier von einer 7DoF-Messung gesprochen werden kann. Die Implementierung einer zusätzlichen Reglerkaskade in der CNC-Steuerung des Roboters ermöglicht eine präzise Bahnkorrektur in Echtzeit, sodass die Geometrie der Fräsbahn laut Hexagon Manufacturing Intelligence den hohen Toleranzen aus der Luftfahrtindustrie gerecht wird.
Das Messsystem kommt in einer Anlage zur Fräsbearbeitung eines Flugzeugseitenleitwerks beim Fraunhofer IFAM zum Einsatz.

3

Kombinierte Messtechnik
Clemens Kuhn, Adam Opel: „Das robotergestützte Fräsen birgt ein großes Potenzial für den Presswerkzeugbau. Die Herausforderung ist jedoch die Ungenauigkeit des Roboters, bedingt durch das Spiel der einzelnen Achsen und der geringen Steifigkeit des Roboterarms. Weiterhin haben auch äußere Einflüsse wie etwa die Umgebungstemperatur Einfluss auf den Prozess. Zusammen mit dem PTW der TU Darmstadt und dem Fraunhofer IPK arbeiten wir an Lösungen, um die Prozesse zu beherrschen: Zum einen ist es wichtig, die exakte Lage des Werkzeuges und des Werkstückes zu kennen. Hierfür messen wir einen Funkmesstaster über einen Laser mit einer 5-Achsmessung ein, um mit diesem die Lage des Werkstückes im Koordinatensystems des Roboters zu bestimmen. Der TCP des Fräsers wird mit derselben 5-Achsmessung bestimmt. Mit dem Einmessen des TCPs werden Abweichungen, bedingt durch Temperaturunterschiede, kompensiert: Das mehrmalige Einmessen des TCPs bei längeren Bearbeitungsaufgaben ist dabei notwendig.“

ner digitalisiert, um bei einem CAD-Abgleich die Qualität des Fräsergebnisses zu prüfen. „Bei Abweichungen werden iterativ der Fräsprozess und der Scanprozess wiederholt, bis das Ergebnis zu 100 Prozent stimmt“, sagt Kuhn abschließend.

Handelt es sich bei Adam Opel eher um eine Spezialanwendung, sind die Anwendungsgebiete für den beim Fraunhofer IFAM entwickelten Laser Tracker-Regelkreis eines Industrieroboters stattdessen vielfältig. Insbesondere Anwendungen, bei denen eine hohe Positioniergenauigkeit (Bohrvorgang) oder eine hohe Bahntreue (Formenbau, Fräsbearbeitung) gefordert ist, sind laut Möller und Schmidt prädestiniert. Grundsätzlich lasse sich das Einsatzgebiet anhand der durch den Regelkreis kompensierbaren Roboterfehler verdeutlichen. „Dazu gehören Einmessfehler zwischen Roboter und Bauteil sowie des Werkzeugs, Kalibrationsfehler und Verformungen der Roboterstruktur aufgrund von thermischen Einflüssen oder externen Kräften, vorausgesetzt, dass sich diese nicht zu schnell ändern“, erläutert Möller. Grenzen habe der externe Regelkreis bei dynamischen Regelfehlern, welche die Bandbreite der Roboter-Lageregler übersteigen. Dazu gehörten auch Resonanzeffekte aufgrund von breitbandigen Anregungen, wie plötzliche Lastwechsel, ruckartige Beschleunigungen, Schläge oder Stöße.

Prozesse und Materialien, bei denen der Laser-Tracker-Regelkreis besondere Vorteile bringt, sind insbesondere bei der spanenden Bearbeitung großvolumiger, flächiger Bauteile zu finden, teilt Hans Christian Schmidt mit. Dies sei zum Beispiel in der Luftfahrtindustrie, im Fahrzeugbau, Formenbau und Windenergieanlagenbau der Fall. Hier könne der extern geregelte Industrieroboter gegenüber einer herkömmlichen Werkzeugmaschine seine Stärke ausspielen, da er einen – in Bezug auf die eigene Größe – sehr großen Arbeitsraum hat und selbst mit der verwendeten Messtechnik kostentechnisch konkurrenzlos ist. Schmidt weist jedoch darauf hin, dass bei der Prozessauswahl darauf zu achten ist, dass die optische Messung nicht unterbrochen wird.

Zudem sollten die Verwendung von Kühlschmierstoff, der Spanflug sowie große Umorientierungen des Endeffektors reduziert werden. „Insbesondere wenn sich die Prozesskräfte nicht zu schnell ändern, lassen sich bei einem Fräsprozess hohe Genauigkeiten bei beliebigen Prozessgeschwindigkeiten erreichen, falls das Material des Werkstücks homogen ist und die Eingriffsverhältnisse des Fräsers konstant gehalten werden“, sagt Projektleiter Möller. Bei Zerspanprozessen sei jedoch eine geringe Bahnbeschleunigung für eine langsam ansteigende Prozesskraft vorteilhaft.

Als Werkstoffe eignen sich insbesondere Faserverbundwerkstoffe, welche sehr gut trocken mit Hochgeschwindigkeitsspindeln zerspant werden können, so die Erfahrung der Forscher am Fraunhofer IFAM. „Auch zur Kunststoffzerspanung ist der Lasertracker-Regelkreis sehr gut geeignet“, erklärt Schmidt. Darüber hinaus könne Stahl mit Minimalmengenschmierung zerspant werden.

Auch am Fraunhofer IPK gibt es Ansätze, das ‚Genauigkeits-Dilemma‘ beim Roboter-Bearbeiten zu lösen. So wird ein Ultraschallaktor genutzt, um die Performance des Roboters zu verbessern. Der Aktor wird an der Werkzeugspindel adaptiert und versetzt das Werkzeug in Ultraschallschwingung. „Dabei können Kräfte reduziert und die Qualität erhöht werden“, sagt Reinkober vom Fraunhofer IPK. Weiterhin entwickelt das Institut gemeinsam mit **Fraunhofer LBF** und IFAM einen Roboter, der ausschließlich für die Bearbeitung ausgelegt ist. Ein dritter Ansatz ist das Thema Aufheizung. „Wir konnten exemplarisch nachweisen, dass durch eine gezielte Erwärmung die Ungenauigkeit reduziert werden kann“, teilt Reinkober mit. Diesen Grundgedanken wolle man weiterentwickeln.

Am Fraunhofer IFAM arbeitet man ebenfalls an der industriellen Verwertung und möchte dazu einen Industriepartner gewinnen, der als Systemintegrator Support im Feld liefern kann. „Die Hardware des gesamten Versuchsaufbaus ist bereits industrietauglich und der Lasertracker-Regelkreis ist in harter Echtzeit realisiert“, versichert Projektleiter Christian Möller. Auch die Software funktioniere sehr zuverlässig. Um den Prozess robuster zu machen, lässt sich unter geringen Genauigkeitseinbußen eine reine Positionskorrektur realisieren, bei der die Position mithilfe eines einfachen Reflektors gemessen wird und so auf die Nutzung des T-Macs verzichtet werden kann, ist sich der Forscher sicher.

Vorteile beim Bearbeiten per Roboter

- Hohe Flexibilität,
- niedrige Investitionskosten im Verhältnis zum Arbeitsvolumen,
- verbesserte Genauigkeitsperformance von Robotern,
- mittlerweile durchgängige PLM-Prozesskette zur Roboterprogrammierung,
- verbesserte Prozessergebnisse durch den Einsatz von Sensorsystemen am Roboter,
- Verfügbarkeit von roboterspezifischen Prozesswerkzeugen.

Quelle: Kuka Roboter GmbH

Herausforderungen beim Bearbeiten per Roboter

- Geringe Prozesssteifigkeiten von seriellen Robotern,
- begrenzte Prozesskräfte bei Roboterbearbeitung,
- vergleichsweise niedrige Genauigkeit gegenüber Werkzeugmaschinen.

Quelle: Kuka Roboter GmbH

Susanne Nördinger studierte Lebensmitteltechnologie an der TU München. Ist Spezialistin für Robotik, Schweißen und Automation.
susanne.noerdinger@produktion.de