Whitepaper

Eliminierung von 5-Achsen-Bearbeitungsfehlern: Echtzeit-Verifizierung für Präzision in der Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrt sowie in der Verteidigungsindustrie werden die Toleranzen bei kritischen Merkmalen durch moderne Zerspanungsverfahren in den einstelligen Mikrometerbereich getrieben (typischerweise ±1–10 µm), während viele Schaufelgeometrieparameter an anderer Stelle im Bereich von ±0,1 mm spezifiziert sind. Beide Enden dieses Spektrums haben reale Auswirkungen auf Performance und Durchsatz. Statische Verifikationsmethoden (z. B. taktile Tastsysteme) können echte dynamische Tool-Center-Point-Fehler übersehen, die bei synchronisierter 5-Achs-Bewegung auftreten. Der Rotary Inspector führt ISO-10791-6-basierte dynamische Messungen in unter einer Minute durch und liefert Q/P-KPIs (geometrische vs. dynamische Fehler) als digitalen Qualitätsbericht, der schnelle Korrekturen und revisionssichere Nachweise ermöglicht.

5-Achs-Bearbeitung in Luft- und Raumfahrt

Die 5-Achs-Bearbeitung von Turbinenschaufeln, Gehäusen und Strukturbauteilen erfordert sowohl geometrische Genauigkeit als auch dynamische Stabilität. Zwar sind Laser oder Interferometer sehr präzise, jedoch langsam, experten-intensiv und häufig ungeeignet für regelmäßige Prüfungen direkt in der Fertigung; taktile Messroutinen sind statisch und können keine dynamischen Effekte von Steuerung/Servo oder Achsenausrichtung aufdecken, die Oberflächenqualität und Form in der Produktion beeinträchtigen.

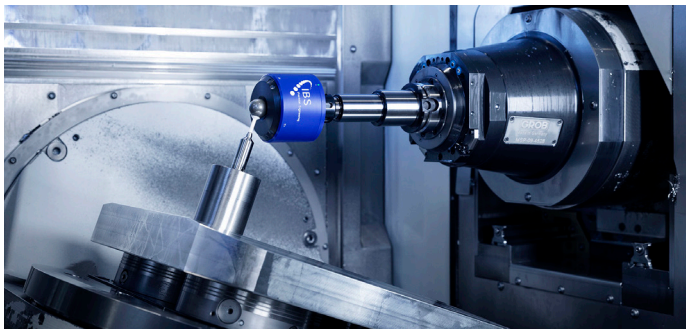
Abweichungen beeinflussen den Wirkungsgrad der Turbine, die Luftdurchsatzkapazität und sogar das Schwingungsverhalten. Aktuelle Studien quantifizieren messbare Verluste durch Toleranzprobleme und unterstreichen die Notwendigkeit, diese während der Fertigung eng zu überwachen und zu kontrollieren.

Verborgene dynamische Fehler in 5-Achsen

Bei synchronisierter 5-Achs-Bewegung führen Fehler in Schwenkachsen (Pivot-Fehler) und Rechtwinkligkeit, Regler-Instabilitäten sowie Lager- oder Spindeldynamiken zu TCP-Fehlern, die sich als Profilverschiebungen, Formabweichungen und Probleme der Oberflächengüte äußern. Diese Probleme können bei einer statischen Punktmessroutine übersehen werden, jedoch am fertigen Bauteil deutlich sichtbar werden. Da Luftfahrtwerkstoffe wie Ti-6Al-4V und Nickel-Superlegierungen teuer und langsam zu bearbeiten sind, ist das Entdecken von Fehlern nach erfolgter Wertschöpfung das Worst-Case-Szenario. Ausschuss und Nacharbeit verringern die Marge und belasten den Terminplan. Erforderlich ist daher ein Verifikationsschritt, der schnell genug ist, um häufig durchgeführt zu werden, empfindlich genug ist, um Submikron-Änderungen zu erkennen, und so aufbereitet ist, dass er schnelle, eindeutige Maßnahmen ermöglicht..

Rotary Inspector (dynamisch, schnell, quantifiziert)

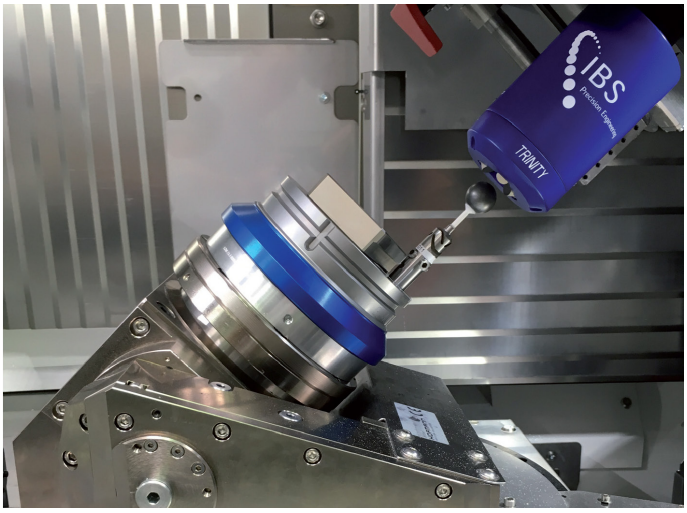
Der Rotary Inspector, entwickelt von IBS Precision Engineering, führt dynamische 3-, 4- und 5-Achs-Tests entsprechend der ISO 10791-6 Bewegungen aus und misst den tatsächlichen TCP-Pfad gegenüber einer kalibrierten Masterkugel mithilfe eines drahtlosen, berührungslosen Trinity-Messkopfs. Die Submikron-Messunsicherheit und die hohe Abtastrate des Systems erfassen das geometrische und dynamische Verhalten der Maschine in deutlich unter einer Minute. Da die Zyklen sehr kurz sind, können Machinebediener Prüfungen beim Start, nach Kollisionen oder Serviceereignissen sowie vor kritischen Losgrößen durchführen und so eine Trendanalyse aufbauen, die Drift- und Thermoverhalten sichtbar macht, bevor es zu Ausschuss kommt.



Die Ergebnisse werden als digitaler Qualitätsbericht mit zwei produktionsfreundlichen KPIs bereitgestellt:

- Q-Wert (geometrischer/volumetrischer Fehler, verbunden mit der Formgenauigkeit)
- P-Wert (dynamischer Fehler, verbunden mit der Oberflächengüte).

Diese KPIs machen Annahmeentscheidungen eindeutig und liefern ein kompaktes Signal für Trendanalysen über Tage und Wochen hinweg.



Rotary Inspector Software

Die Rotary-Inspector-Software bietet einen kurzen und einfachen Installationsprozess, der eine automatisierte Bestimmung der Masterball-Position über NC-Codes umfasst. In Kombination mit einer automatischen Spindelausrichtungsfunktion ermöglicht dies dem Bediener, die Messung vollständig automatisiert durchzuführen.

Mit einer erweiterten Maschinendatenbank von insgesamt 23 Standardkonfigurationen unterstützt die Software selbst die komplexesten geneigten Maschinenkinematiken. Zusätzlich ist ein Kalkulator für geneigte Achsen vollständig in die Software integriert, der eine einfache Bestimmung von Kompensationsdaten ermöglicht. Gleiches gilt für integrierte Handbücher sowie die automatisierte Versendung von Messberichten per E-Mail zur Fernüberprüfung der Ergebnisse.

TDie Analyseschicht des Rotary Inspector berechnet Schwenkachsen- (Pivot-Line-) und Rechtwinkligkeitsfehler und berichtet 5-Achs-volumetrische sowie dynamische Fehler über das nutzbare 3D-Volumen. Der Workflow ist vollständig automatisiert, unterstützt maschinenspezifische Toleranzeinstellungen und schreibt, sofern aktiviert, automatisch Achsfehler-Kompensationen, wodurch der Kreis von der Erkennung bis zur Korrektur innerhalb derselben Sitzung geschlossen wird.

Vorteile für Luft- und Raumfahrt

Im Luft- und Raumfahrt- sowie Verteidigungssektor, in dem teure Werkstoffe wie Titan oder Nickellegierungen mit Toleranzen im einstelligen Mikrometerbereich bearbeitet werden, bietet der Rotary Inspector einen klaren Vorteil, da dynamische Tool-Center-Point-(TCP)-Fehler bereits vor der Zerspanung erkannt und korrigiert werden können. Dies schützt kritische Merkmale im Bereich von ±1–10 µm vor Drift oder steuerungsbedingten Abweichungen und verbessert die First-Pass-Yield-Rate durch reduzierte Nacharbeit und geringeren Ausschuss.

Durch die Integration einer ISO-basierten Verifikationsroutine mit Messzeiten unter einer Minute können Teams Prüfungen mit minimalen Stillstandszeiten während der Produktion oder direkt nach dem Einrichten oder einem Crash durchführen. Masterball und Messkopf lassen sich in Palette und Werkzeugkette integrieren, sodass eine vollautomatische Messung möglich ist. Das System erzeugt digitale, nachvollziehbare Qualitätsberichte mit klaren geometrischen und dynamischen Kennwerten und unterstützt AS9100- sowie ISO-konforme Audits.

Dank der extrem kurzen Zyklen können Bediener Maschinen häufig prüfen, ohne die Produktion anzuhalten, wodurch die dynamische Verifikation zu einem praktischen täglichen Werkzeug wird, statt zu einer zeitaufwändigen Ausnahme. Dadurch wird Qualität von einem Engpass zu einem Echtzeit-Produktivfaktor.

Flottenüberblick und vorausschauende Wartung

In der Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie ist es üblich, mehrere Maschinen desselben Typs zu betreiben. Der Rotary Inspector unterstützt dies mit dem optionalen Data-Manager-Modul, das die zentrale Verwaltung einer gesamten Maschinenflotte ermöglicht. Leistungsdaten werden gesammelt und auf Gruppen-, Zellen- oder Werksebene visualisiert und liefern sofortige Rückmeldung zum Status aller 5-Achs-Maschinen. Dies ermöglicht Maschinenvergleiche, unterstützt vorausschauende Instandhaltung, verbessert die Planung, reduziert Fehler und stärkt die Einhaltung von Kunden- und Regulierungsvorgaben.

Anwendungsfall: Rolls-Royce und IBS

IBS ist seit 2007 ein vertrauenswürdiger Partner von Rolls-Royce im Bereich der Mess- und Insektionstechnik für Werkzeugmaschinen. Die Zusammenarbeit begann mit der Spindelmetrologie für hochpräzise Schleifmaschinen und wurde schnell auf Inspektions- und Analysesoftware ausgeweitet, die die Leistung von 5-Achs-Maschinen in der Fertigung von Hochdruck-Turbinenschaufeln verbesserte. Heute sind IBS-Messsysteme der globale Standard für die Fertigung dieser Schaufeln in mehreren Rolls-Royce-Werken weltweit. In jüngster Zeit haben unsere Rotations-Messlösungen eine Schlüsselrolle bei der Sicherstellung der Maßgenauigkeit und Prozessstabilität komplexer 6-Achs-Maschinen gespielt, die für die Herstellung von Carbonfaser-Turbinenschaufeln für Jettriebwerke der nächsten Generation eingesetzt werden.

Mehr erfahren

- Rotary Inspector Produktseite
- Webseite Maschinenqualifikation
- Broschüre Maschinenqualifikation

Siemens Product Partner

IBS Precision Engineering ist Siemens Product Partner für die Qualifizierung von 5-Achs-Werkzeugmaschinen mit dem Rotary Inspector. Das Siemens-Product-Partner-Programm erkennt Unternehmen an, deren Fachwissen Siemens-Lösungen ergänzt und in anspruchsvollen Anwendungen einen Mehrwert schafft. Als Partner des SINUMERIK-Portfolios bietet IBS ein dynamisches Verifikationswerkzeug, das mit Premium-CNC-Maschinenkonzepten übereinstimmt und eine schnelle Shopfloor-Qualifizierung der Mehrachsleistung unterstützt.

Referenzen

“Ich bin ein großer Fan des Messkopfs”

James Tingle
Automation Technical Specialist
Rolls-Royce

“Durch den Einsatz des IBS Rotary Inspector können wir Produkte mit gleichbleibend hoher Qualität und Präzision fertigen.”

Matthias Scherm
Plant Services-Engineering
MTU Aero Engines, München

*Kontaktieren Sie **IBS Precision Engineering** noch heute, um zu erfahren, wie unsere bewährten Messtechniklösungen Ihnen helfen können, engere Toleranzen, höhere First-Pass-Yield-Raten und mehr Sicherheit in Ihren Mehrachs-Bearbeitungsprozessen zu erreichen.*

IBS Precision Engineering

Seit über 30 Jahren unterstützt IBS Kunden bei der Lösung individueller Herausforderungen. Mit unserem fundierten Expertenwissen in der Messtechnik verstehen wir die wahre Bedeutung von Ultrapräzisionstechnik und wissen, wie wir Sie bei deren Erreichung unterstützen können. Besuchen Sie unsere Website für weitere Informationen: **www.ibspe.com**

© IBS Precision Engineering