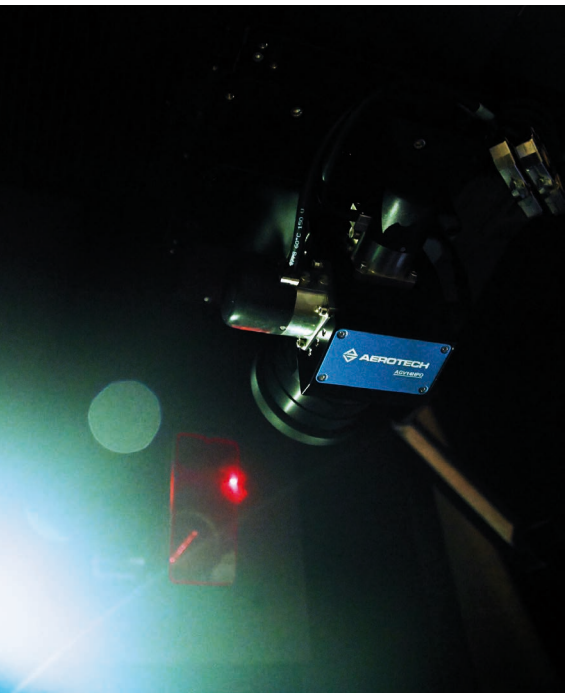
Präzise Bewegung als Schlüssel zur Lasermikrobearbeitung

Wie integrierte Bewegungssteuerungssysteme die Prozesssicherheit erhöhen



Alle Bilder © Aerotech

Die Anforderungen an laserbasierte Fertigungsverfahren steigen ständig. In der Medizintechnik, der Mikroelektronik und bei der Präzisionsbearbeitung komplexer Geometrien werden Genauigkeiten im Mikrometerbereich gefordert - bei gleichzeitiger Steigerung des Durchsatzes. Neben der Laserquelle werden auch die Qualität und Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden Bewegungs- und Steuerungstechnik immer wichtiger. Hersteller betrachten die Lasermikrobearbeitung daher nicht isoliert, sondern als Komplettsystem, bestehend aus Laser, präziser Bewegungstechnik und intelligenter Steuerungssoftware.

Aerotech Inc.
https://de.aerotech.com

Scanner-Technologie

Die Scanner-Technologie ist das Herzstück und die wichtigste Steuerungskomponente der Lasermikrobearbeitung. Ohne hochpräzise Scannersysteme wäre eine moderne Mikrobearbeitung mit Lasern technisch kaum möglich. Bei der Lasermikrobearbeitung muss ein extrem fokussierter Laserstrahl, oft mit einem Durchmesser von nur wenigen Mikrometern, präzise und extrem schnell über ein Werkstück geführt werden. Anstatt das gesamte Werkstück oder den schweren Laseraufbau mühsam mechanisch hin und her zu bewegen, bewegt der Galvanometer-Scanner lediglich winzige, ultraleichte Spiegel. Diese Spiegel lenken den Laserstrahl in Sekundenbruchteilen ab.

Galvanometer-Scanner integrieren

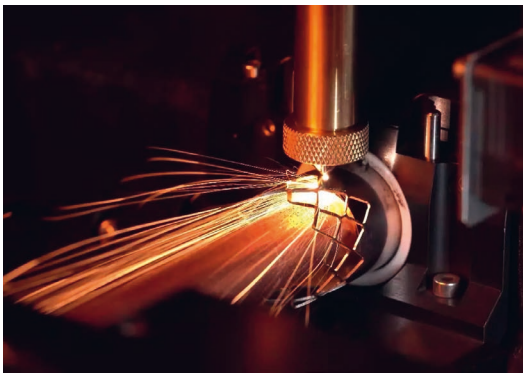
Die Galvanometer-Scanner werden nicht als separate optische Komponenten, sondern als Achsen verbaut, die vollständig in die Bewegungssteuerungsarchitektur integriert sind. „Es ist entscheidend, dass die Scannerbewegungen nicht nur schnell, sondern auch präzise mess- und steuerbar sind“, betont Simon Smith, European Director bei Aerotech. „Komplexe Laserprozesse können nur dann zuverlässig reproduziert werden, wenn Galvoscanner vollständig in die Bewegungssteuerung integriert sind.“

Systemischer Ansatz

Dieser systemische Ansatz bildet die Grundlage für eine hohe Prozesssicherheit in der industriellen Praxis. Moderne Fertigungsaufgaben erfordern darüber hinaus die nahtlose Integration weiterer Technologien - von der Messsensorik über Handlingsysteme bis hin zur Kühlung - die ebenfalls in die übergeordnete Steuerung eingebunden werden müssen. Die Herausforderung besteht darin, diese heterogenen Komponenten so zu verbinden, dass sie in Echtzeit aufeinander abgestimmt arbeiten. „Erst die exakte Synchronisation von Achsen, Scannern und Lasern ermöglicht reproduzierbare Mikrostrukturen“, so Simon Smith weiter. „Abweichungen in der Positionierung oder im Timing können so systematisch minimiert werden.“

Grenzen klassischer Laserbearbeitungssysteme

Während klassische Laserbearbeitungssysteme häufig für zweidimensionale oder eingeschränkt dreidimensionale Kinematiken ausgelegt sind, stoßen sie bei rotationssymmetrischen oder räumlich komplexen Bauteilen an ihre physikalischen und prozesstechnischen Grenzen.

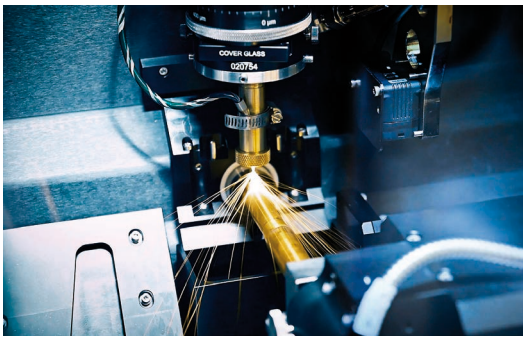


Die Fünf-Achs-Kinematik eröffnet neue Möglichkeiten bei der Bearbeitung komplexer Konturen, wie beispielsweise bei Stents.

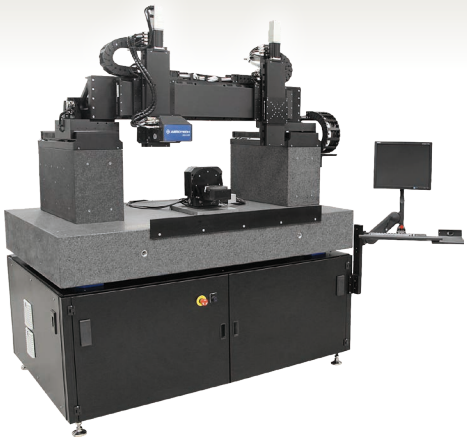
In solchen Fällen bieten integrierte Motion-Control-Lösungen einen entscheidenden Vorteil, da sie Linear- und Drehachsen, Galvoscanner und Lasersteuerung in einem System vereinen. Die Bewegungen werden simultan und nicht sequentiell gesteuert. So kann der Laserstrahl auch bei der gleichzeitigen Bearbeitung komplexer Geometrien und feiner Details kontinuierlich und mit hoher Präzision auf die Werkstückoberfläche geführt werden. Dies ist beispielsweise beim Schneiden von Stents der Fall.

Bewegung und Laser aus einem System

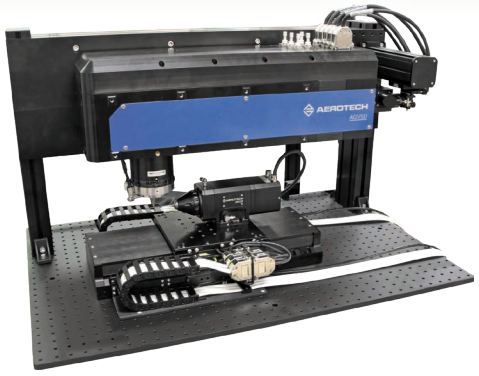
Mit der Kombination aus präzisen Positioniersystemen, integrierter Scannertechnik und einer einheitlichen Steuerungsplattform lassen sich komplexe Bewegungsprofile und Laserprozesse hochpräzise realisieren. Außerdem ist es wichtig, den Energieeintrag unabhängig von Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit konstant zu halten.



Die Lasermikrobearbeitung beim Rohrschneiden: Präzise Prozesse und reproduzierbare Ergebnisse bilden die Grundlage für Anwendungen in der Medizintechnik und Mikroelektronik.



Kompetenz in der Lasermikrobearbeitung: Mechanische Hardware mit hoher dynamischer Steifigkeit und hochauflösendem Feedback.



Der 5-Achsen-Laserscanner AGV5D ist speziell für die präzise Mikrolaserbearbeitung konzipiert.

„Die Herausforderung besteht darin, Bewegungen und Laserpulse unter realistischen Fertigungsbedingungen präzise aufeinander abzustimmen", erklärt Simon Smith, „Abweichungen im Timing haben direkte Auswirkungen auf die Prozessqualität."

Darüber hinaus ermöglicht die Steuerungssoftware eine dynamische Anpassung der Laserparameter an unterschiedliche Materialeigenschaften. So können beispielsweise die Pulse pro Sekunde, die Leistung oder die Spotgröße automatisch angepasst werden, um eine Überhitzung des Materials zu vermeiden und die Oberflächenqualität zu optimieren. Dadurch wird der Ausschuss deutlich reduziert und die Prozessstabilität erhöht.

Diese enge Kopplung wirkt sich direkt auf die Prozessqualität aus, insbesondere bei der Mikrobearbeitung. Ungenauigkeiten durch mechanische Toleranzen oder Zeitverzögerungen zwischen Bewegung und Laserpuls können so minimiert werden.

Fünf-Achs-Kinematik für komplexe Geometrien

Eine wichtige Entwicklung in der Lasermikrobearbeitung ist der Einsatz von Fünf-Achsen-Systemen, die sowohl lineare als auch rotatorische Bewegungen kombinieren. Durch die gleichzeitige Steuerung von drei Linear- und zwei Rotationsachsen können Bauteile aus nahezu jedem Winkel bearbeitet werden, ohne dass ein Umspannen erforderlich ist.

Der Laserstrahl bleibt dabei immer optimal auf die Werkstückoberfläche ausgerichtet, was besonders bei rotationssymmetrischen oder räumlich komplexen Bauteilen wichtig ist.

Diese Kinematik eröffnet neue Möglichkeiten bei der Bearbeitung komplexer Konturen, wie Hinterschneidungen oder filigrane Strukturen. Die Herausforderung liegt dabei weniger in der mechanischen Konstruktion als in der präzisen Synchronisation aller Achsen mit Scanner und Laser. Eine leistungsfähige Motion-Control-Architektur bildet die Basis für reproduzierbare Ergebnisse und ermöglicht es gleichzeitig, den Energieeintrag des Lasers auch bei dynamischen Bewegungen oder wechselnden Bearbeitungsgeschwindigkeiten konstant und vor zu halten.

Software als Produktivitätsfaktor

Neben der Mechanik spielt auch die Steuerungssoftware eine zentrale Rolle für die Leistungsfähigkeit moderner Lasersysteme. Moderne Motion-Control-Plattformen steuern nicht nur Galvoscanner, Achsen und Laserquellen, sondern integrieren auch periphere Komponenten wie Greifsysteme, Messsensoren und Kühlgeräte zu einem Gesamtsystem. Diese enge Verzahnung ermöglicht eine präzise Synchronisation aller Bewegungen und sorgt dafür, dass komplexe Bearbeitungsaufgaben zuverlässig reproduziert werden können.

Systemintegration und Prozesssicherheit

Die Lasermikrobearbeitung entwickelt sich zunehmend zu einer Systemdisziplin, bei der Laserquelle, Bewegungstechnik, Steuerung und Fertigungsintegration untrennbar miteinander verbunden sind. Integrierte Motion-Control-Lösungen schaffen die Voraussetzungen, um anspruchsvolle Prozesse stabil, reproduzierbar und wirtschaftlich zu realisieren. Plattformkonzepte, anwendungsorientierte Verifikation und optimierende Softwaretools sorgen für einen reibungslosen Übergang von der Entwicklung zur Serienfertigung.

Durch die Kombination von modularen Plattformen, fortschrittlichen Steuerungsfunktionen, integrierten Optimierungstools und praxisnahen Testlabors können Hersteller nicht nur bestehende Fertigungsprozesse verbessern, sondern auch neue Anwendungen entwickeln. Dies erhöht die Flexibilität, senkt die Kosten und verbessert die Qualität bei der Produktion von Mikroteilen - insbesondere in Hochpräzisionsbranchen wie der Medizintechnik und der Mikroelektronik. ◄



Präzise Flugbahnsteuerung mit Feedback und Datenvisualisierung



Simon Smith, European Director Aerotech: „Erst die exakte Synchronisation von Achsen, Scannern und Lasern ermöglicht reproduzierbare Mikrostrukturen. Abweichungen in Position oder Timing können so systematisch minimiert werden.