



Fraunhofer
IWU

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND UMFORMTECHNIK IWU

FUNKTIONSOBERFLÄCHEN UND MIKROFERTIGUNG



PROFIL

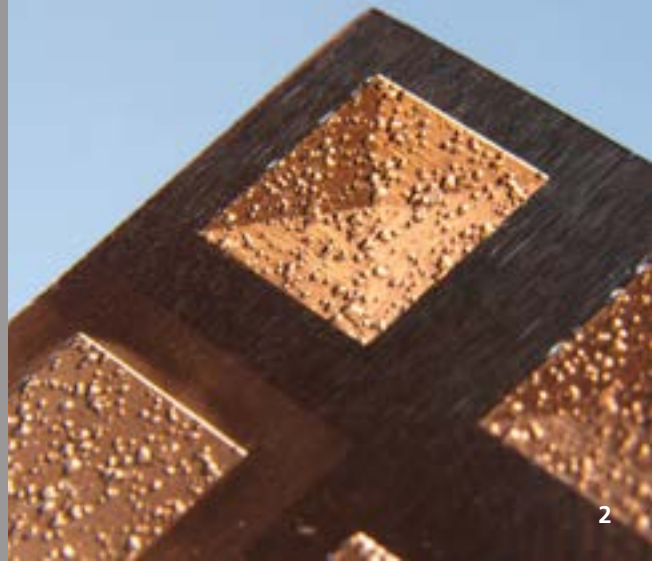
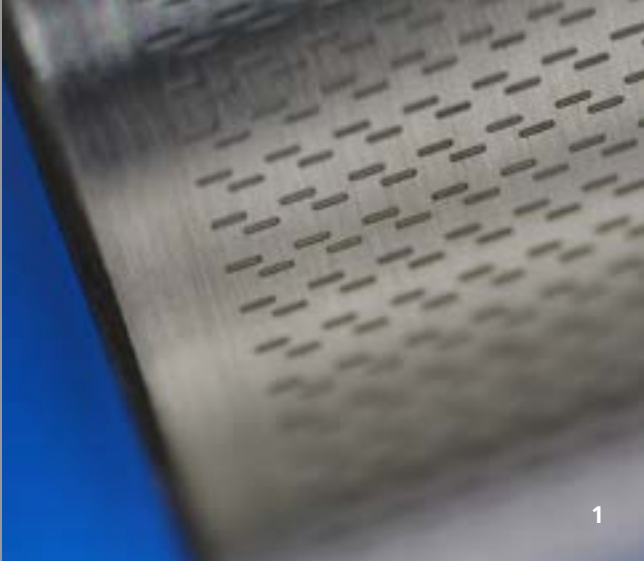
Feinwerktechnische Bauteile und Mikrobauteile werden überwiegend im Automobil-, Maschinen- und Werkzeugbau sowie in der Medizin- und Sensortechnik eingesetzt. Zunehmend werden aber auch aus der Textilindustrie, der Optik sowie der Luft- und Raumfahrt bedarfsgerechte Funktionsoberflächen und Mikrostrukturbauteile gefordert.

Maßgeblichen Einfluss auf die Funktionalität eines Bauteils haben dessen Oberflächentopographie und oberflächennahe Randschicht, da in diesem Bereich die Wechselwirkungen zur Umwelt und zum technischen System stattfinden. Dabei handelt es sich z. B. um tribologisch beanspruchte Oberflächen, Dicht- und Fügeflächen sowie optisch-, thermodynamisch-, haptisch- oder biologisch-funktionale Oberflächen. Fertigungsverfahren und nachgelagerte Prozesse werden gezielt zur Einstellung von geometrischen und physikalischen Eigenschaften der oberflächennahen Randschicht zur Ausbildung einer Funktionsoberfläche am Werkstück genutzt und modifiziert. Daraus ergibt sich ein komplexes Handlungsfeld, das von der energetischen Bewertung von Fertigungsprozessen über die Erweiterung von Verfahrensgrenzen, die Entwicklung von Verfahrenskombinationen bzw. die Substitution von Operationen, die Auslegung von ressourcenschonenden Prozessketten bis hin zur Entwicklung spezieller Werkzeuge und Maschinenteknik reicht.

Die Miniaturisierung von Bauteilen und Funktionselementen erschließt neue Potenziale in verschiedensten Lebensbereichen. So können in der Medizintechnik durch miniaturisierte Implantate verloren gegangene Körperfunktionen wiederhergestellt werden, und in der Chemie laufen durch Mikroreaktoren chemische Reaktionen zuverlässiger und rentabler mit geringeren Mengen an Reagenzien ab. Mit kleiner werdenden Abmessungen der Bauteile erschließt sich zudem ein erhebliches Leichtbaupotenzial. So können nicht nur Material und Energie eingespart, sondern auch andere Effekte und Funktionsprinzipien als in der klassischen Technik nutzbar gemacht werden.

Mit der Miniaturisierung der Bauteile und Funktionselemente verändert sich auch das Verhältnis von Bauteiloberfläche zu Bauteilvolumen erheblich. Damit ist eine intensivere und dynamischere Interaktion der Mikrobauteile mit ihrer Umwelt möglich.

Die Gestaltung und Fertigung von Funktionsoberflächen und miniaturisierten Systemen erfordert neben einem hohen Prozessverständnis auch die ständige Anpassung an aktuelle Bedarfe. An den damit verbundenen Herausforderungen forscht die Abteilung »Funktionsoberflächen und Mikrofertigung« und entwickelt maßgeschneiderte Lösungen für die Industrie. Dazu gehört z. B. die Weiterentwicklung der abtragenden Verfahren der elektrochemischen Bearbeitung (ECM), der Funkenerosion (EDM) und der Lasermaterialbearbeitung (LMB) in Kombination mit spanenden oder abformenden Verfahren. Zur Bewertung und Verifizierung der Wirkungsweise der erzeugten Funktionsoberflächen und Mikrosysteme nutzen wir u. a. geometrische und tribometrische Messtechnik. Aktuelle Trends unserer anwendungsorientierten Forschung liegen in der Einbindung aktorischer Systeme, mit denen Prozesse stabilisiert, der Abtrag erhöht und die Präzision gesteigert werden können. Auch die Gestaltung ressourceneffizienter Prozessketten für schwer zerspanbare Werkstoffe mit Makro- und Mikrogeometrien sowie die Entwicklung hybrider Verfahren und Verfahrenskombinationen für Funktionsoberflächen und Mikrosysteme sind Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.



FUNKTIONSOBERFLÄCHEN

Oberflächen und Mikrostrukturen – Engineered Surfaces

Struktur- und Funktionsbauteile kommen in den vielfältigsten Bereichen zum Einsatz. Für die Optimierung dieser Bauteile je nach Anwendungsfall werden anforderungsgerecht gestaltete Oberflächen immer wichtiger. So können durch einstellbare Spannungszustände und Oberflächentopografien – auch im Zusammenhang mit Beschichtungen – verschiedene Bauteileigenschaften positiv beeinflusst werden, z. B. hinsichtlich des Strömungswiderstandes oder des tribologischen Verhaltens. Neben der Reduzierung der Reibungsverluste ist eine Verringerung des Verschleißes möglich. Funktionale Oberflächen tragen so zu umweltfreundlichen und energieeffizienten Lösungen bei.

Die Erzeugung der Funktionsoberflächen kann direkt in die Präzisionsendbearbeitung von Komponenten des Antriebsstrangs eingebunden werden. Am Beispiel des Auf- und Formbohrens von Zylinderlaufflächen in Endbearbeitungsqualität verkürzen wir bestehende Prozessketten, steigern die Bauteilqualität und leisten einen Beitrag zur ressourceneffizienten Produktion. Die Weiterentwicklung der Minimalmengenschmier- und Trockenbearbeitung trägt zusätzlich zur Steigerung der Energieeffizienz in der Fertigung bei.

Darüber hinaus entwickeln wir Fertigungsverfahren und Prozesse, die es ermöglichen, Reibung und Verschleiß dauerhaft zu reduzieren. Dies geschieht durch eine fertigungsintegrierte Vorwegnahme des Einlaufprozesses und die gezielte Bildung nanoskaliger Randschichten während der Endbearbeitung. Mit dieser speziell ausgelegten Endbearbeitung werden gezielt Oberflächeneigenschaften hervorgerufen, die sich bisher erst nach dem befeuerten Einlaufprozess von Motorkomponenten einstellen.

Auslegung

Spezifisch ausgelegte Mikrostrukturen erzielen über einen bestimmten Last- und Geschwindigkeitsbereich eine signifikante Verbesserung des Reibkoeffizienten um bis zu 40 Prozent gegenüber unstrukturierten Reibpartnern und zeigen dabei ein gleichmäßiges Tragbild auf beiden Kontaktpartnern. Die Effekte der Strukturierung sind u. a. abhängig von den geometrischen Parametern der Mikrostrukturen. Das betrifft sowohl die laterale und vertikale Form als auch deren Aspektverhältnis sowie den Traganteil der mikrostrukturierten Oberfläche.

Entwicklung von Technologien, Werkzeugen und Prozessketten

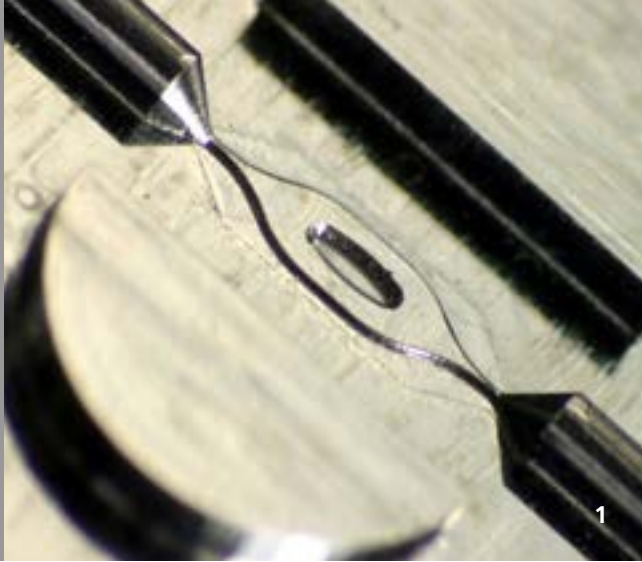
Für die reproduzierbare und effiziente Fertigung großer Funktionsflächen mit definiertem Oberflächenprofil und Randschicht sind grundlagenorientierte und applikationsspezifische Technologie-, Werkzeug- und Prozessentwicklungen erforderlich. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich auf die Erweiterung der Prozessgrenzen durch hybride abtragende und spanende Endbearbeitung wie z. B. Laserstrukturierung, Strukturröllieren, Formbohren und präzise elektrochemische Bearbeitung.

Bewertung von Oberflächen und Bauteilen

Die Bewertung und Verifizierung der Wirkungsweise der erzeugten Funktionsoberflächen erfolgt mit geometrischer und tribometrischer Messtechnik. Dabei werden z. B. Reibpartner mit neu entwickelten Oberflächen auf rotatorischen oder translatorischen Tribometern bzw. Komponentenprüfständen mit kontinuierlichen oder auch reversierenden betriebsnahen Gleitbewegungen hinsichtlich Reibungskoeffizient und Verschleißverhalten untersucht.

1 *Aufwurffreie Lasermikrostrukturierung tribologischer Oberflächen*

2 *Mikrozerspannung von Narbungsstrukturen für Spritzgusswerkzeuge*



MIKROFERTIGUNG

Mikrosystemtechnik und Miniaturisierung

Sowohl die Miniaturisierung von Bauteilen als auch die Integrationsdichte von Funktionselementen in komplexen Präzisionssystemen sind Wegbereiter für innovative Produkte. Individualisierte Implantate für die Medizintechnik, Aktoren und Sensoren für die chemische und biochemische Analysetechnik, aber auch Optiken und Spezialdüsen für die Raumfahrttechnik sind dafür beispielhafte Anwendungen.

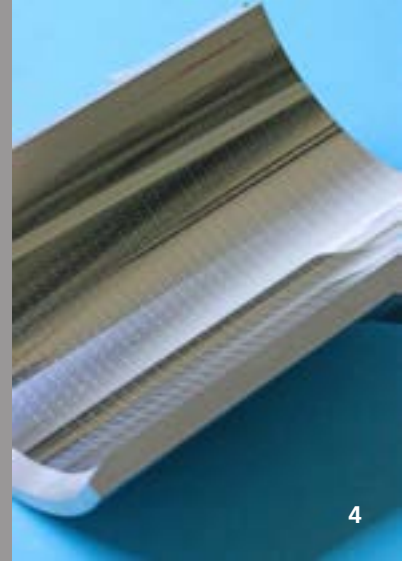
Miniaturisierte Systeme und integrative Funktionsbauteile werden in sehr unterschiedlichen Stückzahlen benötigt – von Massenprodukten im Automobilbau bis hin zu Kleinserien im Maschinenbau. Voraussetzung für die Fertigung dieser einzelnen Funktionsbaugruppen ist zum einen die Beherrschung hochentwickelter feinwerktechnischer und mikrotechnischer Verfahren, zum anderen die zum Einsatz kommende Werkzeug- und Anlagentechnik.

In unserem Fokus liegt die Weiterentwicklung der abtragenden Verfahren der elektrochemischen Bearbeitung (ECM), der Funkenerosion (EDM) und der Lasermaterialbearbeitung (LMB) in Kombination mit der Mikrozerspanung sowie der Mikroumformung der Oberfläche. Bei der spezifischen Auslegung der mikrotechnischen Prozesse und Prozessketten konzentrieren wir uns auf Applikationen aus den Bereichen Mikrofluidiksysteme und Mikrostrukturbauteile sowie aus dem Mikrowerkzeug- und -formenbau. Bereits in der Konstruktionsphase werden fertigungstechnische Restriktionen analysiert und bei der Bauteilauslegung und Werkstoffauswahl berücksichtigt. Auf dieser Basis können wir reproduzierbare und prozesssichere Prozessketten gestalten.

Im Bereich der mikrotechnischen Fertigungsverfahren entwickeln wir nicht nur Lösungen zur Erzeugung komplexer Geometrien und 5-Seiten-Bearbeitungen oder zur Erweiterung des bearbeitbaren Materialspektrums hin zu schwer zerspanbaren Metallen und Keramiken, sondern auch hybride Technologien im Sinne einer Achs-, Schwingungs- oder Medienüberlagerung. Forschungsthemen beschäftigen sich mit der Prozessuntersuchung, der Simulation und Optimierung, aber auch mit applikationsspezifischen Technologieentwicklungen und der Prototypenfertigung. Für die Bearbeitung von biokompatiblen Materialien oder Formgedächtnis- und Titanlegierungen mit präzisen Formen im Submillimeterbereich und spezifischen Oberflächen ist ein vertieftes Prozessverständnis erforderlich. Die forschungsseitigen Herausforderungen liegen in den Kernthemen Wirtschaftlichkeit, Bauteilqualität, Werkzeugverschleiß, Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit.

Neben der Erweiterung der Verfahrensgrenzen für die Präzisions- und Mikrobearbeitung ist auch die Qualifizierung der entsprechenden Maschinen- und Messkonzepte erforderlich. So haben wir beispielsweise gemeinsam mit etablierten Anlagenherstellern ein innovatives Antriebskonzept einer Hybrid-Struktur-Maschine entwickelt. Neben einer nahezu mechanisch entkoppelten Achsbewegung mit einer Genauigkeit bis weit in den Submikrometerbereich wird damit auch eine erhebliche Reduzierung des Energiebedarfs erreicht. Die kompakte Bauweise der Mikrozerspanungsmaschine in Tischhöhe mit wenigen Einzelkomponenten ist eine aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht kostengünstige und energiesparende Alternative zu größeren und komplexeren Bearbeitungszentren für den Einsatz im Kleinformen- und Werkzeugbau.

Mit unserem Know-how, hochmodernen Bearbeitungszentren sowie einem speziell für die Mikrobearbeitung ausgelegten CAD/CAM-System sind wir für Ihre Dienstleistungen, Machbarkeitsstudien und Vorlauforschungen kompetenter Partner.



TECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Elektrochemische Bearbeitung (ECM)

Bei der elektrochemischen Bearbeitung erfolgt der Abtrag eines Werkstückwerkstoffs durch die anodische Metallauflösung. Wesentlichstes Merkmal der EC-Verfahren ist der fehlende mechanische Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück. Somit werden keine mechanischen Kräfte übertragen, und Werkstoffeigenschaften wie Härte oder Zähigkeit nehmen keinen Einfluss auf den Prozess. Die ECM-Technologien sind daher ideal für die Bearbeitung hochbeanspruchter Bauteile geeignet und ermöglichen die Erzeugung hochwertiger, stets gratfreier Oberflächen mit hoher Formgenauigkeit.

Wir qualifizieren vor allem das elektrochemische Abtragen mit geschlossenem elektrolytischen Freistrahle (Jet-ECM) und die präzise elektrochemische Metallbearbeitung (PECM). Abhängig vom zu bearbeitenden Material liegen für die Verfahren die erreichbaren Genauigkeiten im Bereich von 10 bis 100 Mikrometer. Dabei sind Rauheiten bis zu $R_a = 0,05$ Mikrometer erreichbar. In unserem Forschungsfokus stehen die Lokalisierung des Abtraggebiets, die Prozesssimulation und -optimierung, die applikationsspezifische Technologie- und Vorrichtungsentwicklung sowie eine effiziente Prototypenfertigung.

Laserstrukturierung

Mithilfe der Lasermaterialbearbeitung ist eine gezielte Strukturierung von funktionalen Oberflächen und Mikrobauanteilen möglich. Wir arbeiten mit einer 5-Achs-Anlage, in der ein Faser- und ein Ultrakurzpulslaser parallel angeordnet sind. Mit hohen Pulsenergien und ultrakurzen Pulszeiten erfolgt der Materialabtrag nahezu ohne thermische Beeinflussung der Randbereiche. Anwendung findet das Verfahren u. a. bei Bauteilen mit Matt/Glanz-Effekten, antimikrobiellen, hydrophoben, tribologischen oder auch Interferenzoberflächen. Unsere Forschung konzentriert sich auf die 2½D-Mikrostrukturierung

von Prägwerkzeugen für das Heißprägen medizinischer Fluidsysteme sowie die Oberflächenstrukturierung technischer Komponenten zur Reibwertreduzierung und zur Verbesserung des Entformungsverhaltens. Die Übertragung der Erkenntnisse auf 3D-Strukturen sowie die Kombination der Lasermaterialbearbeitung mit dem Mikrofräsen sind ebenfalls Gegenstand aktueller Untersuchungen.

Mikro-Funkenerodieren (EDM)

Die Mikrofunkenerosion basiert auf elektrischen Entladungen zwischen Werkstück und Werkzeugelektrode, durch die kleine Materialvolumina aufgeschmolzen oder verdampft werden. Durch mehrere zehntausend Entladungen pro Sekunde wird die Werkzeuggeometrie in das Werkstück übertragen. Das Verfahren erlaubt die Nutzung weicher, einfach bearbeitbarer Elektrodenmaterialien. Zur Fertigung kleinster Geometrien mit höchster Präzision muss der verfahrensbedingte Funkenspalt minimiert werden, dadurch wird die Partikelabfuhr bei tiefen Strukturen erschwert. Um hochpräzise Mikrogeometrien prozesssicher und schnell fertigen zu können, forschen wir an Hybridtechnologien, bei denen der EDM-Prozess mit Niederfrequenz- und Ultraschallschwingungen überlagert wird. Derartige Strategien ermöglichen eine deutliche Erhöhung der Prozessstabilität und Abtraggeschwindigkeit und somit eine Erweiterung des möglichen Mikrostrukturspektrums hin zu hohen Aspektverhältnissen und komplexen Geometrien. Die Übertragung der Mikro-EDM-Bearbeitung auf elektrisch nichtleitende Keramiken ist ebenfalls Forschungsgegenstand.

- 1 *Mikrofluidikwerkzeug mit Strukturgrößen von 50 µm*
- 2 *Ultrapräzisionszerspannung optischer Oberflächen*
- 3 *Präzise elektrochemische Metallbearbeitung*
- 4 *Mikrostrukturierte Lauffläche eines Hubkolben-Systems*



Mikrofräsen

Das Mikrofräsen erfolgt mit filigranen Werkzeugen im Durchmesserbereich eines Haars. Mit Drehzahlen bis zu 150 000 Umdrehungen pro Minute werden so Kavitäten und miniaturisierte Bauteile für den Einsatz im Werkzeug- und Formenbau, in der Mikroanalytik, im Automobilbereich sowie in der Medizintechnik gefertigt. Werkstoffe mit einer Härte bis zu 65 HRC können durch 3- bis 5-Achs-Simultanfräsen bearbeitet werden. Dies erfordert eine hohe Prozesssicherheit zur Gewährleistung effektiver Arbeitsabläufe. Untersuchungen zur Schnittkraft, der Werkzeugabdrängung und der Prozess-temperatur trugen zu einem vertieften Prozessverständnis und zur Eingrenzung des Werkzeugverschleißes bei. Systematische Entwicklungen zu angepassten Frässtrategien, Schnittwertoptimierungen sowie Kühlschmierkonzepten ermöglichen nun hochgenaue Fertigungsprozesse auch in der Mikrozerspanung.

Spanende Endbearbeitung

Für die spanende Endbearbeitung wurde ein Bearbeitungszentrum mit integrierter mechatronischer Frässpindelaufhängung entwickelt. Diese Anlage ermöglicht die präventive Bearbeitung unrunder Bohrungen bei Bauteilen, die sich bei nachfolgender Montage oder während ihres Betriebsverhaltens verziehen, wie z. B. Zylinderlaufflächen, Lager oder Führungsbahnen. Die mechatronische Frässpindelaufhängung gestattet hochfrequente Werkzeugauslenkungen bis etwa 100 Mikrometer. Aktuelle Forschungsthemen beschäftigen sich mit der Beherrschung der auslenkungsbedingten unterschiedlichen Schneideneingriffsverhältnisse, der Entwicklung formbezogener Ansteuerstrategien sowie der Identifikation optimaler Prozessparameter für Formbohrprozesse in Taktzeiten der Automobilindustrie.

- 1 *Hochdynamisches Formbohren von Zylinderlaufflächen*
- 2 *Doppelseitiges Mikrolinsenarray heißgeprägt in Glas mit 1700 Einzellinsen (Durchmesser 25 mm)*

Darüber hinaus erfolgen Entwicklungen zur Werkzeug- und Schneidengestaltung sowie zur erweiterten Nutzung der Werkzeugauslenkung für die wirtschaftliche Erzeugung von Oberflächenmodifikationen auf flächigen Bauteilen.

Replikation / Heißprägen

Das isotherme Heißprägen wird u. a. zur Herstellung oberflächenfunktionalisierter Kunststofffolien, zum hermetisch dichten Fügen von Bauteilen aus Glas und Metall, aber auch zur Abbildung von Strukturelementen der Mikrooptik und Mikrofluidik angewandt. Mit dem doppelseitigen Heißprägen von Arraystrukturen in optischer Qualität bearbeiten wir ein weltweit einzigartiges Arbeitsgebiet. Dazu realisieren wir u. a. Entwicklungen zur Prozessmodellierung für die Beschreibung des Fließverhaltens von anorganischem Glas sowie technologiegerechte Werkzeug- und Anlagenkonstruktionen.

Strukturrollieren

Das Strukturrollieren ist eine Verfahrenskombination, die wir aus dem Rollier- und Strukturprägen entwickelt haben. Die bei diesem Verfahren eingesetzte strukturierte Prägerolle kann z. B. zur Verringerung der Ausgangsrauheit bei gleichzeitigem Abprägen von Mikrostrukturen für tribologische Effekte genutzt werden. Aber auch zum Aufrauen von Oberflächen für eine nachfolgende Beschichtung ist das Verfahren wirkungsvoll einsetzbar. Derzeit untersuchen wir die Anwendbarkeit des Verfahrens auf nicht rotationssymmetrische Bauteile.

Tribometrie

Reibung und Verschleiß wirken sich negativ auf die Produkt-nutzungszeit und damit den Ressourceneinsatz aus. Umso wichtiger ist eine tribologische Bewertung von Bauteiloberflächen. Mit translatorischen und rotatorischen Tribometern können wir anwendungsnahe Betriebszustände nachbilden. Für Gleitpaarungen technischer und medizinischer Produkte, aber auch von Lifestyle-Produkten ermitteln wir das Einlaufverhalten sowie den Einfluss kryogener und temperierter Schmierstoffe oder geänderter bzw. neuer Endbearbeitungsverfahren und Beschichtungen.

UNSER LEISTUNGSANGEBOT

Innovationen sind ein wesentlicher Faktor des unternehmerischen Erfolgs und gelingen dann am besten, wenn Wirtschaft und Wissenschaft Hand in Hand gehen. Wir sind verlässlicher und kompetenter Forschungspartner sowohl für den Mittelstand als auch für große Unternehmen, wenn es darum geht, aus Ideen Innovationen zu generieren und Problemlösungen zu erarbeiten.

Unsere Leistungen beinhalten

- die Bauteil- und Oberflächenauslegung,
- die Technologieentwicklung für trennende und umformende Mikro- und Präzisionsfertigungsverfahren,
- die Werkzeugentwicklung sowie
- die Qualitätssicherung, Bemusterung sowie geometrische und funktionale Bauteilbewertung.

Wir kooperieren in den verschiedensten Formen mit Partnern aus Industrie und Forschung:

- Auftragsforschung für Unternehmen mit und ohne Zufinanzierung durch öffentliche Geldgeber
- gemeinsame Entwicklungen mit Unternehmen und Hochschulen in öffentlich geförderten Verbundprojekten, vor allem im Bereich der Grundlagen- und Vorlaufforschung
- Dienstleistungen zur Bauteilfertigung sowie zur Qualitäts- und Funktionsbewertung
- Bereitstellung neuester Maschinen- und Anlagentechnik für Unternehmen zu Versuchs- und Forschungszwecken

Bei fachübergreifenden Aufgabenstellungen arbeiten wir eng mit anderen Forschungseinrichtungen und spezialisierten Unternehmen zusammen und sind so in der Lage, komplexe Systemlösungen anzubieten.

Ausstattung / Anlagentechnik

Spanen

- 3-Achs-Hochleistungsbearbeitungszentrum Mikron VCP1000
- 5-Achs-Mikrobearbeitungszentrum Kugler MM3
- 3-Achs-Mikrobearbeitungszentrum LPKF XY 10/10 GLP
- Koordinatenschleifmaschine MIKROMAT 4S
- diverse Minimalmengenschmiersysteme

Abtragen

- PEM Center 8000 für die elektrochemische Bearbeitung (ECM)
- 3-Achs-Mikrobearbeitungsanlage für die Jet-ECM
- Mikro-Funkenerosions-Feinbohrmaschine Sarix SX100 & T1-T4
- 5-Achs-Laserbearbeitungszentrum ACSYS ORCAµ

Umformen

- Heißpräganlage MicroShape 100
- Präzisionsumformmaschine P.U.MA 600 für das Mikroheißprägen
- Universalprüfmaschine TIRAtest 2700
- Teststand Hochgeschwindigkeitsmikroumformung

Reinigung

- Mikrosandstrahlanlage Texas Airsonic HPB
- mobiles CO₂-Schneestrahln-Reinigungssystem ACP JetWorker P16

Geometrie- und Oberflächenmesstechnik

- 3D-Koordinatenmessgerät Zeiss Prismo
- Rasterelektronenmikroskop REM VP 1455 mit EDX-System
- Weißlichtinterferometer, Streifenprojektionssystem MikroCAD
- VCheck Konturenvermessungs-Software
- Laserinterferometer Renishaw
- Kompakt-Massenspektrometer QMS 220

Tribometrie

- Translatorisches Tribometer Optimol SRV5
- Rotatorisches Tribometer WAZAU TRM 500 und TRM 5000

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Abteilung Funktionsoberflächen und Mikrofertigung

Dr.-Ing. Jan Edelmann
Telefon +49 371 5397-1931
Fax +49 371 5397-1930
jan.edelmann@iwu.fraunhofer.de

Titelbild

Komponenten eines Titanimplantats mit elektrischer Durch-
führung und optischem Fenster zur Infrarotdatenübertragung
für eine myoelektrische Handprothesensteuerung
(Fraunhofer-Leitprojekt Theranostische Implantate)