

Voruntersuchungen zur Mikrobearbeitung mit der Sarix Mikro-EDM SX-100-HPM

Dipl.-Ing. Jörg Münzner, cand.-Ing. Stefan Müller

Einleitung

Die Mikro-, Präzisions- und Ultrapräzisionsbearbeitung ist ein Kompetenzfeld von PAZAT in Forschung und Lehre. Ein Schwerpunkt ist die Mikrobearbeitung durch abtragende Verfahren (Draht- und Senkerodieren). Dazu steht seit dem Jahr 2007 die Mikroerodieranlage SX-100-HPM zur Verfügung. Im Folgenden soll die Anlage kurz vorgestellt und erste Forschungsarbeiten dargestellt werden.

1 Vorbemerkungen

Das funkenerosive Abtragen (engl. EDM = electrical discharge machining) würde sich nicht als Alternativverfahren avancieren, gäbe es gegenüber anderen Verfahren nicht entscheidende Vorteile. Allgemeinen Vorteile des Funkenerodierens sind u.a.:

- kontaktfreie Bearbeitung und damit nur geringste bzw. keine Wirkung von Bearbeitungskräften, keine starre Werkstückspannung erforderlich, Möglichkeit der Bearbeitung von sehr dünnen Werkstücken
- das Verfahren ist unabhängig von der mechanischen Festigkeit des Werkstückwerkstoffes, eine abrasive Wirkung auf das Werkzeug tritt nicht auf
- komplexe und filigrane Konturen/Strukturen können hergestellt werden
- gratfreie Bearbeitungskanten, hohe Genauigkeit, gute Oberflächenqualität
- emissionsarmes Verfahren.

Neben diesen Vorteilen stehen Anforderungen des Anwenders an das Verfahren. Allgemeine Anforderungen an das Erodieren sind u.a.:

- breites Bearbeitungsspektrum
- große Geometriekomplexität
- hohe Wirtschaftlichkeit bei Einzel- und Kleinserienfertigung
- große Verfügbarkeit der Technologien und Anlagen

Speziell zur Mikروفunkenerosion lassen sich die Anforderungen wie folgt verfeinern.

Bauteildimensionen:

- kleine Bauteilvolumina ($< 1\text{mm}^3$)
- Miniaturisierung von Bauteilabmessungen von 0,01 bis 0,1 mm
- großes Aspektverhältnis
- Minimierung der Ecken-/Kantenradien und Spaltweiten deutlich unter 10 μm

Fertigungstoleranzen:

- Zulässige Maß- und Formabweichungen $< \pm 1\ \mu\text{m}$

Oberflächengüte:

- erreichbare minimale Rauheit $R_a < 0,1\ \mu\text{m}$
- Reduzierung der thermisch beeinflussten Randzone auf $< 1\ \mu\text{m}$
- frei von thermisch induzierten Eigenspannungen

2 Mikro-EDM SX-100-HPM

2.1 Maschinensystem

Die SX-100-HPM der Firma Sarix [1] ist eine 3D-Hochpräzisions-Mikroerodiermaschine mit folgenden Hauptbestandteilen (Abb. 1):

- Mikro-Impulsgenerator für diverse Impulsarten mit Nadelimpulscharakteristik, Entladezeiten $< 2 \mu\text{s}$
- hochpräzise Rotationsspindel für Elektroden bis 300 mm Länge und 0,04 – 3 mm Durchmesser
- 3-Achs-Bearbeitungseinheit
- Maschinensteuerung
- Bedieneinheit
- automatische Drahtabrichteinheit (besondere Ausstattung)
- Kühlvorrichtung
- Dielektrikum-Aggregat mit Leitfähigkeits- und Temperaturkontrolle
- Hochdruck-Spülsystem (70 bar)

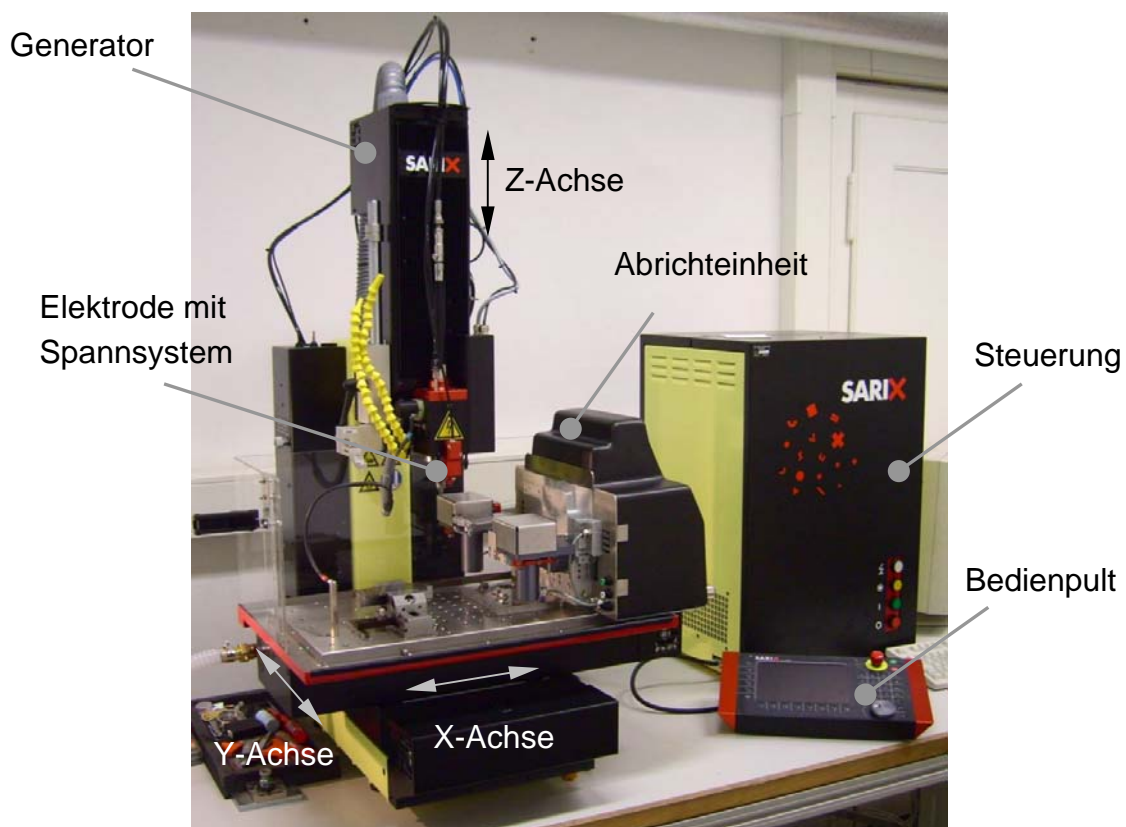


Abb. 1: Mikroerosionsanlage Sarix SX100

Herzstück der Erodieranlage ist der Mikroerosionsgenerator. Er ist in der z-Achse prozessnah angeordnet. Dies ermöglicht kurze Übertragungswege zwischen Generator, Elektrode und Werkstück und damit eine geringe Störanfälligkeit der Erosionsimpulse.

Die Fertigung der Elektroden erfolgt maschinenintegriert auf einer Abrichteinheit. Die Kontur bzw. der Durchmesser der Elektrode wird in der Abrichteinheit durch das Drahterosionsverfahren basierend auf dem Ausgangselektroden Durchmesser hergestellt. Durch die Integration der Elektrodenfertigung innerhalb des Maschinensystems ist ein Werkzeugwechsel ohne Austausch von Baugruppen z.B. Spannzange, Werkzeughalter o.ä. möglich. Die notwendigen Werkzeuggenauigkeiten bzw. die Werkzeughandhabung speziell bei kleinen Elektrodendurchmessern (bis 10µm) sind nur auf diesem Weg erreichbar.

Weitere ausgewählte technische Daten der Maschine:

- Arbeitsraum mit Drahteinheit (X,Y,Z): 120x150x150mm
- Geschwindigkeit: X,Y: 800mm/min, Z 600mm/min
- Positioniergenauigkeit: +/- 2µm

2.2 Bearbeitungsmöglichkeiten

Neben Bohrungen/Löchern einfachster Art erlaubt die SX-100 eine dreidimensionale Multi-Achsen-Präzisionsbearbeitung. Dafür stehen in erster Linie Stab- und Rohrelektroden (Hartmetall) ab 45 Mikrometern bis 3 Millimetern zur Verfügung. Mit dem Abfahren der einzelnen Bahnkonturen und Einsenken der Elektrode in Bearbeitungsrichtung wird das Bahnerodieren dem Senkerodieren überlagert.

Prinzipiell kann jeder elektrisch leitende Werkstoff mit der Sarix bearbeitet werden. Die dabei anzuwendende Erosionstechnologie beruht auf Erfahrungswerten, denen zahlreiche Tests und Versuchsreihen für den jeweiligen Werkstoff zu Grunde liegen.

Da alle Bearbeitungsprozesse je nach Werkstoffkombinationen ihre spezifischen Charakteristiken aufweisen, variieren die Einstellparameter für optimale Technologien erheblich.

Abhängig von der Anforderung an den Prozess können folgende Zielgrößen im Gegensatz zueinander stehen:

- Bearbeitungsgeschwindigkeit bzw. Bearbeitungszeit
- Oberflächenqualität
- Wirkspalt (Fertigungsgenauigkeit)
- Abtragate
- Verschleiß der Elektrode.

Um in der Folge einstellbare Parameter, also die Einflussgrößen auf die unterschiedlichen Zielstellungen, in ausreichender Form und im Bereich angemessener Werte variieren zu können, sind die Einflüsse näher zu untersuchen.

2.3 Elektrodengenerierung

Die vollautomatische Drahteinheit der SX-100 erlaubt ein Abrichten von Elektrodenrohlingen (Stabelektroden mit \varnothing 300 µm) auf kleinere Durchmesser bis 10 µm. Die hohen erreichbaren Genauigkeiten resultieren dabei auf der Vermeidung von Spannfehlern. Die Stabelektrode wird im Falle des Abrichtens als Werkstück betrachtet und der ablaufende Draht wird zum Werkzeug (Abb. 2).

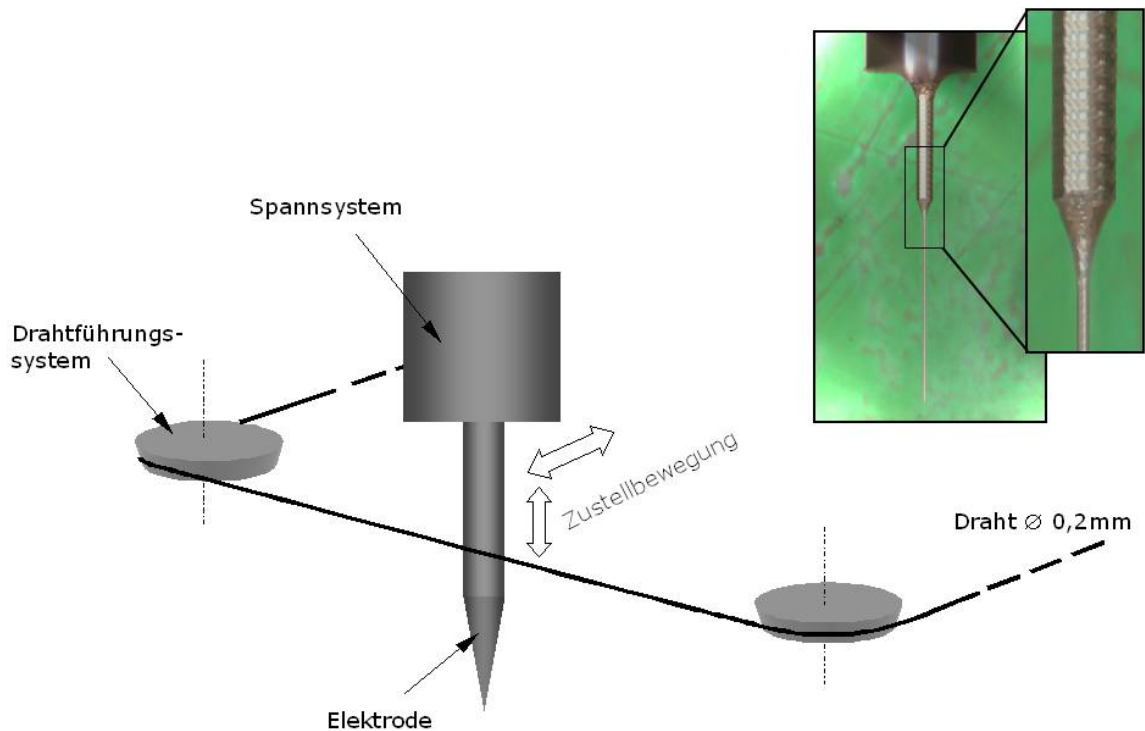


Abb. 2: Prinzip der Elektrodengenerierung

Durch Zustellung der rotierenden Stabelektrode in Richtung des negativ gepolten Drahtes wird ein gleichmäßiger Abtrag bis zum gewünschten Durchmesser erreicht. Durch wiederholtes Messen an fest referenzierten Kontrollstiften wird die geforderte Toleranz des Elektrodendurchmessers eingehalten. Bei Verwendung verschiedener Zustell-Strategien, beispielsweise ohne Rotation der Stabelektrode, können unterschiedliche Elektrodenquerschnitte erzeugt werden (Abb. 3).

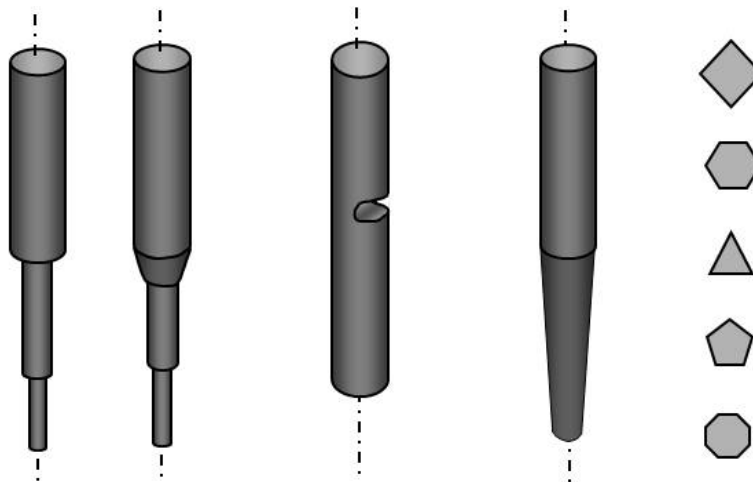


Abb. 3: Erzeugung verschiedener Elektrodenquerschnitte [4]

2.4 CAM-Programmierung

Das Konzept der CAM-Programmierung [3] bietet umfangreiche Möglichkeiten zum Erstellen von Bearbeitungsvorgaben und Bearbeitungsstrategien. Dabei wird sowohl das „Mikro-Senkerodieren“ (Bohren) als auch das „Mikro-Fräsen“ komplexer 3D-Geometrien unterstützt. CAD-Modelle verschiedener Datenformate (STEP, IGES, Solidworks,...) können importiert und bearbeitet werden.

Nach den Voreinstellungen zum Werkzeug (Elektrode) mit seinen spezifischen Parametern (Werkstoff, Maße,...) können zahlreiche Bearbeitungsparameter und spezielle Bearbeitungsreihenfolgen mit definiert werden. Die kompletten Bearbeitungsstrategien richten sich beispielsweise nach:

- Unterscheidung zwischen Schruppen und Schlichten
- Bearbeitungstoleranzen
- Anfahrstrategien
- Zustellungen
- Auf- und Abmaße
- Vorgabe zur automatischen Kompensation des Elektrodenverschleißes.

Nach Berücksichtigung aller Fertigungsvorgaben und Randbedingungen wird vom CAM-System der NC-Code automatisch erstellt. Nach dem manuellem Befestigen des Werkstückes mittels maschineneigenem Präzisions-Spannbock im Bearbeitungsraum und dem Setzen von Null- und Referenzpunkten kann die NC-Bearbeitung beginnen.

3 Untersuchungen zu den Parametervariationen

Gegenwärtig stehen Untersuchungen zur Mikro-Funkenerosion unterschiedlichster Werkstoffe im Mittelpunkt. Grundvoraussetzung ist das Verständnis zahlreicher Einstellparameter. Folgende Parametergruppen sind grundlegend zu unterscheiden:

- Regelparameter
- Technologieparameter
- Polarität
- Spülungsart.

In den Untersuchungen sollen die Einflüsse der wirkenden Regelparameter

- Regulierung
- Spaltregelung
- Regelempfindlichkeit

und der einstellbaren Technologieparameter

- Impulsfrequenz
- Impulsdauer
- Energie (einheitenloser Sarix-Parameter, beeinflusst Impulstyp)
- Spannung (Leerlaufspannung, Zündspannung)
- Stromstärke (einheitenloser Sarix-Parameter)

in Verbindung mit die Polarität der Elektrode und der Unterscheidung zwischen lateraler Spülung und Innenspülung untersucht. Eine der Problemstellungen ist die Wechselwirkung der Parameter (Tab. 1).

Tab. 1: Maximalwertänderung von Einstellparametern [2]

Parameteränderung	Einfluss (mögl. Einschränkung) auf:
Impulsdauer	-
Impulsfrequenz	Impulsdauer
Maximalstromstärke	Impulsfrequenz
Zündspannung	Impulsfrequenz, Maximalstromstärke
Regelempfindlichkeit	-
Spaltregelung	-
Energie pro Impuls	Impulsdauer, -frequenz, M.strom, Zündspannung
Regulierung	Regelempfindlichkeit, Spaltregelung

Änderungen von Parametern wirken sich auf mögliche Einstellbereiche anderer aus. Aus Tab. 1 lässt sich eine Parameter-Hierarchie ableiten, welche bei der Ermittlung geeigneter Bearbeitungstechnologien eingehalten werden sollte. Das macht die Erstellung von kontinuierlichen Prozesskennfeldern schwierig und erfordert eine ausreichend große Anzahl an Versuchsreihen. Umfangreiche Recherchen und die Anwendung von statistischer Versuchsplanungsmethoden sind empfehlenswert [5]. Zunächst wurden Voruntersuchungen zum Impulstyp durchgeführt. Der Impulsgenerator ist in der Lage Impulse mit unterschiedlichen Energien zu erzeugen. Dabei wird von der SX-100-HPM in Kategorien nach Tab. 2 eingeteilt.

Tab. 2: Impulstypen der SX-100-HPM, nach [2]

Impulstyp	Einstellbarer Bereich	Verwendung
sehr kurze Impulse	energy: 13,14,15	geringste Rauheit verlangt, Schlichtbearbeitung
kurze Impulse	energy: 100,101,...,113,114	geringe Rauheit verlangt, Schlichtbearbeitung, Vorschlichten
lange Impulse	energy: 200,201,...,364,365	Schruppbearbeitungen

Mittels Oszillographen wurden Untersuchungen vorgenommen, welche durch die Aufzeichnung von Spannungs- und Stromkanälen das Aussehen der Impulstypen (über der Zeitachse) festlegen. Durch Betrachtungen im Mikro- und Sub-Mikrosekunden-Bereich lassen sich Unterschiede der verschiedenen Impulstypen besser definieren. Weiterführende Untersuchungen unter verbesserten Bedingungen (Verwendung leistungsfähigerer Sensoren) sollten dabei in Zukunft angestrebt werden um das Erstellen wissenschaftlicher Arbeiten zu vereinfachen [5].

Nicht nur maschinenbezogene sondern auch werkstückbezogene Untersuchungen sind Gegenstand aktueller Arbeiten. So wird die bei der Funkenerosion typischerweise auftretende Erscheinung der thermisch beeinflussten Randzone (thermische Werkstückschädigung) unter Verwendung vorhandener Mikroskopie-Technik untersucht. Die veränderlichen Einflussgrößen Zündspannung, Maximalstrom, Impulsenergie und Spülbedingungen sind hierbei entscheidende Parameter. Auch hier lassen sich bei weiterführenden Untersuchungen allgemeingültige Aussagen erarbeiten und bereits gewonnene Erkenntnisse weiter verfeinern [5].

Literatur

- [1] Sarix - 3D μ EDM Milling, <http://www.sarix.com>
- [2] Sarix - High Precision Micro-Erosion Machine: Bedienungshandbuch Version 1.30, Firma Sarix, 6616 Losone, 2006
- [3] Sarix - SX-3D Micro-Milling: Bedienungshandbuch ESPRIT V2007.08, Firma Sarix, 6616 Losone, 2007
- [4] Gallera, R.: Hochpräzise 3D-Mikro-Erodierbearbeitung - Potenziale und Anwendungen; Fachkolloquium Generieren und Abtragen - Rapid Manufacturing und innovative Abtragstechnologien, TU Dresden, 04.04.2008
- [5] Müller, S.: Erodieren von kohlefaserverstärkte Kunststoffen, Großer Beleg, Institut für Formgebende Fertigungstechnik, TU Dresden, 2010