

# Technologiesuche zur Mikroerosionsbearbeitung konventioneller und schwer zerspanbarer Werkstoffe

Dipl.-Ing. Jörg Münzner

## 1 Ausgangssituation

Die Miniaturisierung von Bauteilen mit komplexen Formelementen sowie die Anwendung hochfester und schwer zerspanbarer Werkstoffe eröffnet der Mikroerosionsbearbeitung ein breites Anwendungsfeld. Schwerpunktmäßige Anwendungsbereiche finden sich u.a. in der Automobilindustrie, der Medizintechnik und dem Formen- und Werkzeugbau. Die zu fertigenden Formelemente reichen in ihrer Vielfalt von zylindrischen Bohrungen über 2.5D Elemente (Taschen, Inseln) bis hin zu komplexen Freiformgeometrien.

Die Mikroerosion bietet im Vergleich zu zerspanenden Verfahren den entscheidenden Vorteil, dass nur die elektrische Leitfähigkeit des zu bearbeitenden Werkstoffes die Erodierbarkeit bestimmt und durch die kraftfreie Bearbeitung feine Konturen und dünne Stege hergestellt werden können [1]. Mechanische Werkstoffkennwerte wie Härte und Festigkeit haben auf die Erodierbarkeit keinen Einfluss.

Das Verfahren ist daher in vielen Fällen trotz seiner hohen Bearbeitungszeiten konkurrenzlos wenn es darum geht, Formelemente mit höchsten Genauigkeiten wirtschaftlich herzustellen.

Eigene Erfahrungen bei der Nutzung der Erodieretechnik und speziell der Mikroerosionsverfahren belegen, dass die genannten Verfahrensvorteile nur in Verbindung mit einer qualifizierten und anwendungsbezogenen Prozessgestaltung wirksam werden.

## 2 Besonderheiten der Erosionsbearbeitung im Mikrobereich

Die Mikrobearbeitung stellt generell hohe Anforderungen an das Maschinensystem, und die Prozessführung. Allgemein unterscheidet sich die Mikroerosionsbearbeitung von der konventionellen Erosion in folgenden Punkten:

Generatortechnik Impulsparameter	⇒	Generatoren mit Nadelimpulscharakteristik Geringste Entladeenergien, Entladezeiten $< 2\mu\text{s}$
Maschinenausrüstung	⇒	Direkte Wegmesssysteme für hohe Positioniergenauigkeit, Abrichttechnik für Elektroden
Elektrodenwerkstoffe	⇒	Hartmetall, Kupfer, Wolfram
Dielektrika	⇒	Spezielle CH-Dielektrika mit geringer Durchschlagsfeldstärke für kleine Spalte
Prozessbeherrschung	⇒	Anwendungsangepasste Bearbeitungsbahnen und Prozessparameter

### 3 Prozesskette zur Erstellung von Bearbeitungsprogrammen

Zur Erstellung der Bearbeitungsprogramme wird das CAM-System Esprit mit einer maschinenspezifischen Erweiterung (Sarix-Modul) genutzt. Der prinzipielle Ablauf zur Programmerstellung ist im Bild 1 dargestellt. Die Kontur kann direkt in dem System erstellt, oder über verschiedene Softwareschnittstellen eingelesen werden. Entsprechend der zu bearbeitenden Kontur lassen sich im nächsten Schritt die Elektroden definieren. Neben Standardelektroden, die nicht abgerichtet werden müssen, ist die Definition von Mikroelektroden mit frei definierbarem Elektrodendurchmesser möglich. Diese werden, wenn während des Programmablaufs notwendig, an der Abrichteinheit hergestellt.

Die Festlegung der Prozessparameter aufbauend auf den Elektrodendurchmessern, dem Werkstoff und dem Dielektrikum ist durch eine integrierte Prozessparameterdatenbank unterstützt. Diese Werte sind brauchbare Ausgangsgrößen für im folgenden beschriebene Technologieermittlung.

Zur Gestaltung der Bearbeitungsbahnen stehen diverse Strategien (Höhenlinienbearbeitung, z-konstant-Bearbeitung u.a.) zu Verfügung.

Das NC-Programm beinhaltet letztendlich die Bahninformationen und zusätzlich die zur Herstellung der Elektroden notwendigen Parameter sowie die Prozessparameter.

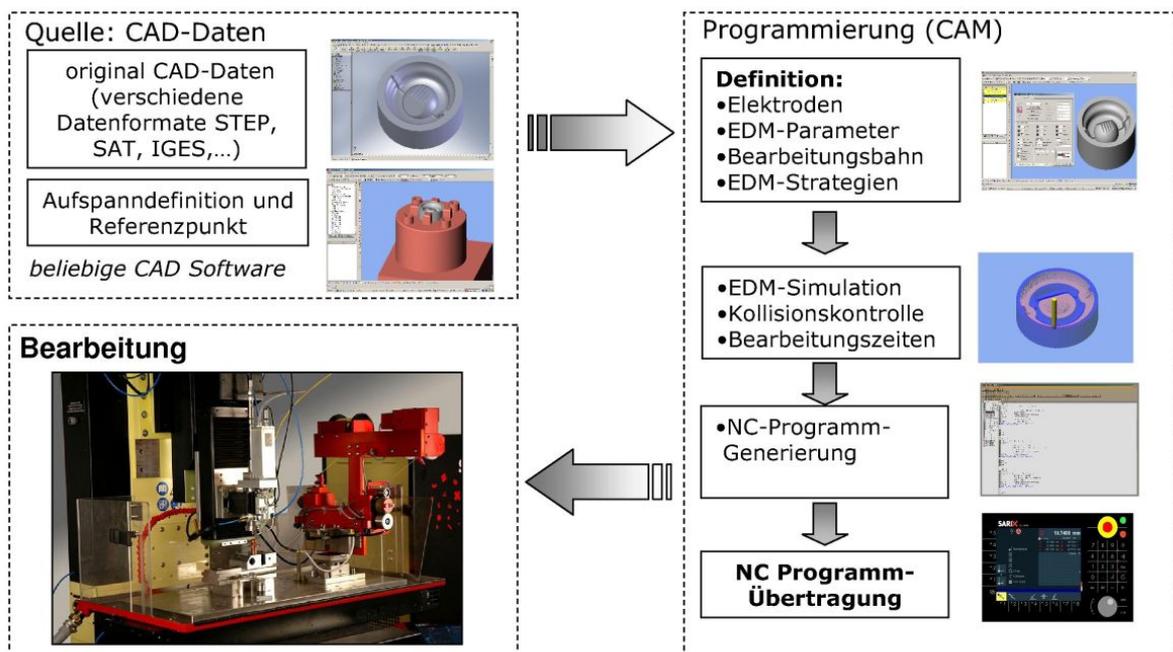


Bild 1: Prozesskette zur Erstellung von Bearbeitungsprogrammen [2]

### 4 Ermittlung der werkstoffabhängigen Prozessparameter und Bearbeitungsstrategien – Technologiesuche

#### Ermittlung der Prozessparameter

Die Prozessparameter sind abhängig von der Elektrodengeometrie, dem zu bearbeitenden Werkstoff und dem Dielektrikum. Die nachfolgend genannten Prozessparameter können bei der Sarix-SX100 vom Bediener festgelegt werden:

- Impulsfrequenz,

- Impulsdauer,
- Polarität,
- Stromstärke,
- Spannung,
- Spaltweite,
- Verstärkungsfaktor,
- Erosionstechnologie (zur Generatorsteuerung, in codierter Form),
- Impulsform (zur Generatorsteuerung, in codierter Form),
- Energie (zur Generatorsteuerung, in codierter Form).

Diese Parameter haben einen entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit (aufgrund der variablen Spaltweite), den Elektrodenverschleiß und letztendlich auf den Erfolg der Bearbeitung. Das mögliche Prozessparameterfeld wird begrenzt durch den zum Erliegen kommenden Erosionsprozess.

Der Hersteller bietet als Auswahlhilfe für geeignete Prozessparameter eine Unterstützung in Form einer Technologiedatenbank an. Aufgrund der Vielfältigkeit der möglichen Elektrodendurchmesser und Werkstoffe selbst innerhalb einer Werkstoffklasse (z.B. Feinkornhartmetall, Ultrafeinkornhartmetall) sind die bereitgestellten Werte nur als grobe Vororientierung dienlich.

Zur Ermittlung der letztendlich an die Bearbeitungssituation angepassten Prozessparameter (gegebener Elektrodendurchmesser, Werkstoff) wurde eine sogenannte Technologiesuche durchgeführt.

In Senkversuchen von Bohrungen werden die genannten Prozessparameter sukzessive variiert und die Bearbeitungszeit und der anfallende Elektrodenverschleiß bestimmt. Diese Senkversuche und die Verschleißauswertung sind in Form eines NC-Programms automatisiert.

Anschließend erfolgt die Vermessung der Bohrungen im Auflichtmikroskop. Aus der Differenz zwischen Elektrodendurchmesser und Bohrungsdurchmesser ergibt sich die Spaltweite des Lateralspaltes, die letztendlich die Einhaltung der lateralen Genauigkeitsgrenzen bestimmt.

Aus diesem Prozessparameterfeld werden geeignete Prozessparameter als Kompromiss hinsichtlich folgender Restriktionen gewählt:

- Erosionsgeschwindigkeit,
- Elektrodenverschleiß,
- Spaltweite, laterale Genauigkeit.

### **Erosionsgerechte Bearbeitungsstrategien**

Im konkreten Anwendungsfall bestand die Aufgabe in der Fertigung von Bohrungen im Durchmesserbereich von 120µm bis 250µm mit einer Tiefe von 1mm in Hartmetall. Die Bohrungen besitzen damit ein Aspektverhältnis von bis zu 8.3. Bei hohem Aspektverhältnis verschlechtern sich die Spülbedingungen am Bohrungsgrund. Dadurch steigt der Elektrodenverschleiß bzw. es besteht aufgrund permanenter Kurzschlüsse durch nicht ausgebrachte Abtragpartikel das Risiko, dass der Prozess vollständig zum Erliegen kommt.

Die Spülbedingungen verbessern sich entscheidend durch eine radiale Aussteuerbewegung der Elektrode. Die Elektrode muss dafür kleiner als die zu fertigende Bohrung sein. Ein Verhältnis von Bohrung zu Elektrodendurchmesser von

1.6 hat sich in den Untersuchungen bewährt. Ein größeres Verhältnis hat bei gleichem Bohrungsdurchmesser kleinere Elektrodendurchmesser und damit eine verringerte Abtragsleistung zur Folge.

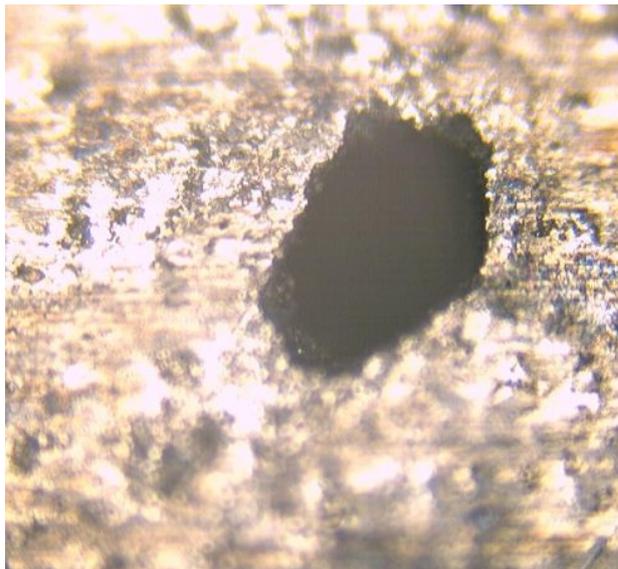
Die Tiefenzustellung kann wahlweise mit konstanten Inkrementen in z-Richtung oder in Form einer Helix erfolgen. Konstante z-Inkmente bieten Vorteile, wenn im Vergleich zum Elektrodendurchmesser große Bohrungen d.h., ein Durchmesser Verhältnis von 2 überschritten wird. Die Helixbearbeitung kann bei Durchmesser Verhältnissen bis 2 eingesetzt werden, da der Bohrungsgrund stets vollständig von der Elektrode überstrichen wird.

Durch den Einsatz der genannten Strategien zur Herstellung von Bohrungen mit großem Aspektverhältnis reduzierte sich der Elektrodenschleiß um das 15fache von 300% bei der reinen Senkbearbeitung auf 20%.

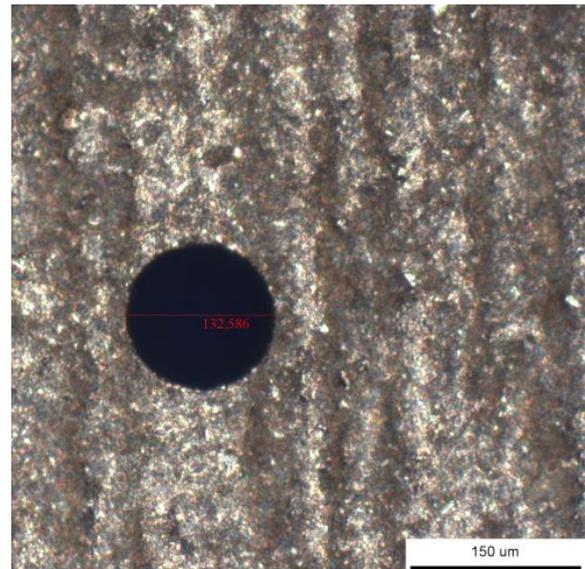
## 5 Ausgewählte Beispiele verschiedener Technologien und Werkstoffe

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus Versuchen im Überblick dargestellt.

- Fertigung von Bohrungen mit hohem Aspektverhältnis in Hartmetall, Reaktivierung verschlissener Bohrungen im Durchmesserbereich von 120µm bis 250µm (Bild 2).



a) verschlissene Bohrung



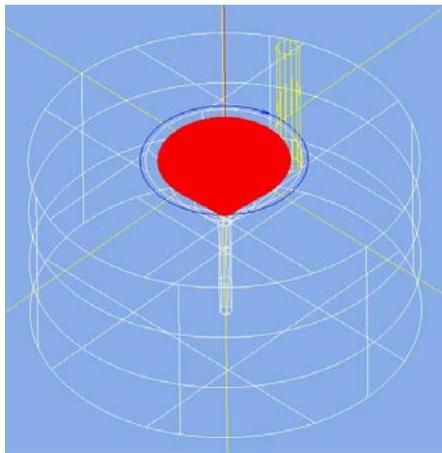
b) nachbearbeitete Bohrung

Bild 2: Reaktivierung verschlissener Bohrungen

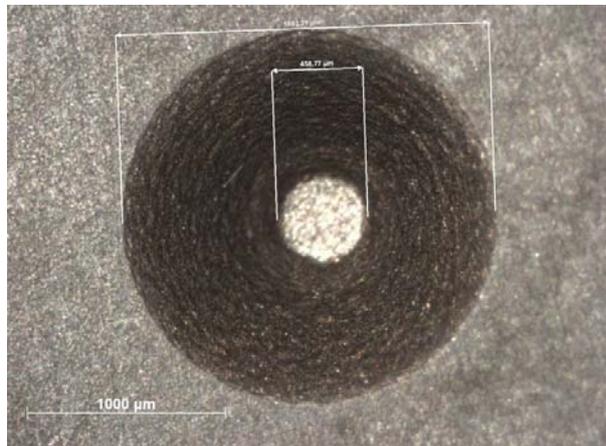
- Konturbearbeitung in Hartmetall: Die für die Bearbeitung notwendigen Prozessparameter wurden durch die Technologiesuche bestimmt. Die Bahnplanung erfolgte mit dem Sarix-Modul von Esprit (Bilder 3 und 4).



Bild 3: 2.5D-Konturbearbeitung zu Beschriftungszwecken in Hartmetall



a) Bearbeitungsbahnen (Esprite)



b) Mikroskopaufnahme des gefertigten Kegels (Tiefe 1mm)

Bild 4: Kegelförmige Tasche in Hartmetall

- Konturbearbeitung von Messing (Bild 5)

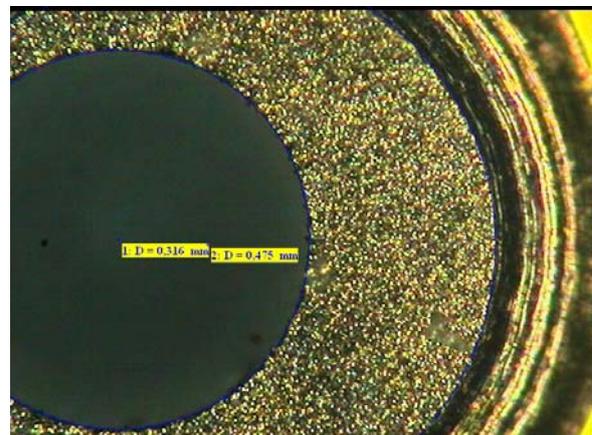
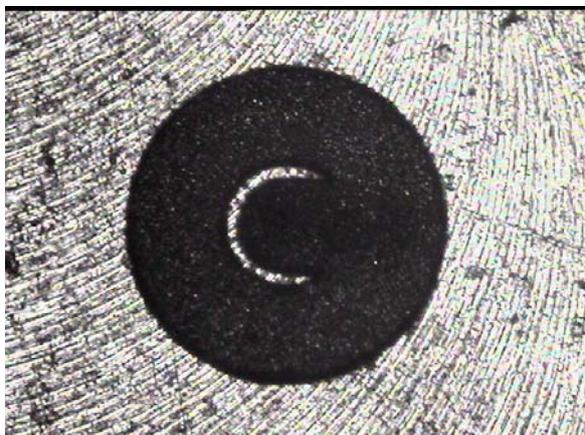


Bild 5: Kreiskontur in Messing

Weiterhin wurden Technologiesuchen für Stahl, Silizium und Kupfer durchgeführt.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Forschungsarbeiten dienen der Erarbeitung eines grundsätzlichen Verständnisses des Mikroerosionsverfahrens.

Die dargestellten Untersuchungen zielen darauf ab, eine Strategie zu entwickeln, die es mit geringem Aufwand ermöglicht, Prozessparameter für die Bearbeitung verschiedenster Werkstoffe zu ermitteln. Die Prozessparameter werden anhand der Senkbearbeitung von Bohrungen hinsichtlich der Restriktionen Genauigkeit, Erosionszeit und dem Elektrodenverschleiß optimiert.

Weiterhin wurden verfahrensangepasste Bearbeitungsstrategien zur Herstellung von Bohrungen mit hohem Aspektverhältnis entwickelt. Die Bearbeitungsparameter und -strategien wurden an 2D- und 2.5D-Strukturen untersucht und deren entscheidender Einfluss auf die Erosionsbearbeitung nachgewiesen.

Ausblick auf weitere Arbeiten:

- Integration der, durch die Technologiesuche ermittelten Prozessparameter in die Technologiedatenbank,
- Erweiterung des Werkstoffspektrums der Technologiedatenbank,
- Integration neuer Funktionalitäten in die bestehende Technologiesuche,
- Fertigung von 3D-Formelementen z.B. Freiformkonturen.

### Literatur

- [1] Jahr, H.: Kontinuierliche technologische Abbildungen für die Senkerosion- ein Beitrag zur Rationalisierung der Generierung von Parametertechnologien, Dissertation, TU Dresden, 2005
- [2] Internetquelle Sarix, [www.Sarix.com](http://www.Sarix.com), Stand 12/2008