1 Einleitung

Die abtragende Wirkung von elektrischen Funkenentladungen wurde 1944 entdeckt [Laz44]. Jedoch begann die industrielle Nutzung des erosiven Effektes erst 1954 mit der Verfügbarkeit der ersten funkenerosiven Senkanlagen [DaCo95]. Als abtragendes Bearbeitungsverfahren hat sich diese Technologie mittlerweile mit den Varianten „funkenerosives Senken“ und „funkenerosives Schneiden“ als Fertigungsverfahren etabliert [Kön90].

Das funkenerosive Senken, das in der vorliegenden Arbeit ausschließlich behandelt wird, stellt ein berührungslos abbildendes Verfahren dar. Die Negativform einer Werkzeugelektrode wird dabei durch einen kontinuierlichen Materialabtrag in ein Werkstück reproduziert. Für den Materialabtrag verantwortlich sind primär thermische Vorgänge, die aus den elektrischen Entladungen resultieren.

Vor allem im Werkzeug- und Formenbau ist die Funkenerosion zur Schlüsseltechnologie avanciert, weil mit diesem Verfahren zum einen jeder elektrisch leitfähige Werkstoff ungeachtet seiner Härte und Festigkeit bearbeitet werden kann, zum anderen wird durch die Funkenerosion eine hohe geometrische Gestaltungsfreiheit möglich, die insbesondere bei der Herstellung komplizierter Raumformen von entscheidender Bedeutung ist [Kob95]. Da nahezu keine Bearbeitungskräfte auftreten und die zugeführten elektrischen Energiemengen genau steuerbar sind, ist die Elektroerosion prädestiniert für die Mikrobearbeitung [KEM01], [Mas01], [Nöt01]. Damit eröffnen sich der Erosionstechnologie neue Anwendungsfelder in der Mikrosystemtechnik.

Gegenüber der spanenden Bearbeitung weist die Funkenerosion lange Bearbeitungszeiten auf und ist damit nur in speziellen Fällen ökonomisch anwendbar. Anders als bei spanenden Verfahren ist beim funkenerosiven Senken der Vorschub nicht einstellbar, sondern erfolgt in Abhängigkeit vom Bearbeitungsprozess. Eine Vorschubregelung hat die Aufgabe, den Abstand zwischen Werkzeugelektrode und Werkstück ständig so einzustellen, daß möglichst viele abtragswirksame Funkenentladungen stattfinden können. Der elektrisch wirksame Spalt zwischen Werkstück und Werkzeug ist während der Bearbeitung nicht meßbar. Deshalb müssen zur Regelung dieses Spaltes andere Zustandsgrößen herangezogen werden, die jedoch in hohem Maße stochastischen Schwankungen unterliegen. Da kein vollständiges Modell des Abtragsvorgangs existiert, ist die Auslegung der Regelung erschwert. Plötzlich auftretende instabile Prozeßzustände in Form von lichtbogenartigen Fehlentladungen können zudem die Oberfläche des Werkstücks beschädigen und erfordern eine schnelle Reaktion. Die Hersteller funkenerosiver Senkanlagen ermitteln deshalb in umfangreichen Versuchsreihen technologische Daten. Der Anwender kann daraus für Standardbearbeitungsfälle die Maschineneinstellung entnehmen, die einen sicheren Prozeßverlauf gewährleistet. Ist für den speziellen Anwendungsfall kein herstellerseitiges Technologiewissen verfügbar, so muß der Anwender diese Daten in Versuchen selber ermitteln.

Die Entwicklung der Funkenerosionsanlagen wird getragen von den Fortschritten auf dem Gebiet der Elektronik. Mit Hilfe von modernen Leistungshalbleitern wurden die für den Abtragsvorgang als Energiequelle fungierenden Generatoren verbessert [Tim96]. Mikroprozessoren ermöglichen durch numerische Steuerungen die mehrachsige, bahngesteuerte Vorschubbewegung [Waß92]. Der Senkerosion werden damit neue Einsatzfelder erschlossen. Mittels einer planetären Bewegung läßt sich der als Verschleiß bezeichnete Abtrag an der formgebenden Werkzeugelektrode kompensieren [KöBe85]. Die Genauigkeit des Bearbeitungsverfahrens kann auf diese Weise gesteigert werden, wobei gleichzeitig der Aufwand zur Elektrodenherstellung sinkt.

Da die Regelung der Spaltweite ein entscheidendes Mittel ist, um während der Bearbeitung auf das Arbeitsergebnis Einfluß zu nehmen [Rau84], stellen adaptive Regelstrategien eine Möglichkeit zur Leistungssteigerung und zur Erhöhung des Automatisierungsgrades dar. Die Entwicklung automatischer Optimiersysteme zur ständigen Anpassung der Maschineneinstellung an die sich stetig ändernden Bearbeitungsbedingungen ist deshalb zum Gegenstand zahlreicher Arbeiten geworden [Kur72], [Eng75], [Bar76], [Kur72], [Dau85], [Slo89], [Deh92], [Ode95], [Wit97], [Raa99].

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Möglichkeiten zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Prozeßsicherheit bei funkenerosiven Senkanlagen aufzuzeigen. Dazu wird zunächst das Phänomen der lichtbogenartigen Fehlentladungen untersucht. Die Analyse der bekannten Verfahren zur Lichtbogendetektion führt zu einer effizienten Erkennungsmethodik, die sich durch ihre hohe Empfindlichkeit auszeichnet. Aufbauend auf einen Abtragsprozeß, der durch eine derart wirksame Lichtbogenbehandlung stabilisiert ist, werden alternative Konzepte zur Spaltweitenregelung untersucht. Die Einbeziehung von Methoden und Techniken aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz münden schließlich in einer Fuzzy-Logik-basierten Spaltweitenregelung, die durch ein künstliches Neuronales Netz dem sich ständig ändernden Prozeßverlauf angepaßt wird. Durch die Entwicklung einer den Besonderheiten der funkenerosiven Bearbeitung angepaßten numerischen Steuerung werden diese Maßnahmen zur Verbesserung der Vorschubregelung auf die mehrachsige Bearbeitung übertragen. Vorteile ergeben sich durch die informationstechnische Vernetzung aller am Herstellungsprozeß beteiligten Fertigungseinrichtungen [Blö97]. Das herstellerübergreifende Zusammenwirken verschiedener Steuerungssysteme bildet hierfür eine Voraussetzung [WKK93]. Aus diesem Grund wurde das entwickelte Prozeßführungssystem in seinen Schnittstellen einem offenen Steuerungsstandard angenähert.