I. EINLEITUNG

Die funkenerosive Bearbeitung, die in das "funkenerosive Senken" und das "funkenerosive Schneiden" unterteilt wird, findet seit Mitte der vierziger Jahre [Laz44] als "nichtkonventionelles" Verfahren zur formgebenden Metallbearbeitung Anwendung. Als abtragendes Bearbeitungsverfahren [DIN85] basiert es auf der erodierenden Wirkung von energiereichen elektrischen Entladungen. Bei der Senkerosion bildet sich die Form des Werkzeuges ungeachtet der mechanischen Eigenschaften des Werkstückes, wie Härte oder Zähigkeit, berührungslos in ein Werkstück ab.

Die funkenerosive Bearbeitung wird bevorzugt für Bearbeitungsaufgaben eingesetzt, die hohe Genauigkeiten, hohe Werkstoffhärten oder sehr komplexe Raumformen beinhalten. Herzustellende Werkzeuge, die hohem Verschleiß ausgesetzt sind, bestehen dabei entweder aus sehr hartem Werkstoff oder werden nach der spanenden Bearbeitung gehärtet. Aufgrund des Härteverzugs und der Schwierigkeiten bei der Herstellung von Raumformen in gehärtetem Material gibt es für die funkenerosive Bearbeitung keine Alternative zur Erreichung der geforderten Maßhaltigkeit und Oberflächenbeschaffenheit. Das Spektrum der funkenerosiven Bearbeitung reicht vom groben Schruppen über Schlichten bis hin zum funkenerosiven Polieren. Der gravierendste Nachteil ist im Vergleich zu spanender Bearbeitung die lange Bearbeitungszeit, was den wirtschaftlichen Einsatz nur für ausgewählte Anwendungen zuläßt. Hierzu zählen vor allem der Werkzeug- und Formenbau. Umformwerkzeuge, wie Schmiedegesenke und Prägematrizen, werden meist funkenerosiv hergestellt [Kön90]. Darüber hinaus ist die Fertigung von Bohrungen mit großem Längen-Durchmesserverhältnis eine Spezialität der Funkenerosion, da bei der Bearbeitung, abgesehen von hydrostatischen Kräften, im Gegensatz zur spanenden Bearbeitung keine Prozeßkräfte auftreten. Heutzutage wird neben der eher seltenen reinen Senkerosion vor allem die Planetärerosion eingesetzt, die die Zahl der notwendigen Elektroden reduziert. Ein wichtiger fertigungstechnischer Aspekt der Planetärerosion ist, daß die Maßhaltigkeit der Bearbeitung fast ausschließlich aus der Präzision der Erodierbearbeitung resultiert und nicht wie bei der reinen abbildenden Senkerosion von der Fertigungsgenauigkeit der Werkzeugelektrode bestimmt wird.

Die physikalische Grundlage des funkenerosiven Abtragens beschreibt die Theorie der Gasentladungen. Im Fall der funkenerosiven Entladung wird mittels gesteuerter Spannungsimpulse aufgrund der elektrischen Feldstärke ein elektrischer Durchschlag zwischen zwei Elektroden herbeigeführt. Dieser ist auf einen sogenannten „versteckten Gasdurchschlag“zurückzuführen, der zum Teil von Partikelbrückenbildung unterstützt wird. Ein durchgezündeter Funke „brennt“ dabei in einem Kanal aus Elektronengas, dem Plasmakanal. Die Fußpunkte dieses Kanals, gekennzeichnet durch hohe Temperaturen und sehr kleine Kanaldurchmesser sind quasi punktförmige Wärmequellen auf den Elektrodenoberflächen. Sie vermögen es, Elektrodenmaterial zu schmelzen und in bestimmten Phasen der Entladung zu verdampfen. Der maßgebliche wirksame Abtrag findet allerdings am Ende der Entladung zum Zeitpunkt des Abschaltens des Arbeitsstromes statt. Die frühe Bedeutung von Gasentladungsprozessen auf dem Gebiet der Lichttechnik

und der Funktechnik ging mit der Erfindung der Röhrentechnologie und später des Transistors größtenteils verloren. Ihre Hauptanwendungsgebiete sind heute die abbildende Metallbearbeitung (Funkenerosives Senken und Schneiden), die Verbindungstechnik (Plasmaschweißen), die Lichttechnik (Leuchtstofflampen) und einige Spezialanwendungen, wie z. B. Plasmaöfen für höchste Verbrennungstemperaturen, oder verschleißarme Hochlastschalter für die Hochspannungstechnik [KMV84] [Heu92].

Moderne funkenerosive Senkanlagen sind auf maximalen Abtrag mit geringem Verschleiß unter Einhaltung bestimmter Oberflächenkennwerte und Abbildungsgenauigkeiten ausgelegt. Neben der Qualität der Anlage selbst bestimmen Form und Werkstoff des zu erodierenden Werkstückes und die Erfahrung des Bedieners das Arbeitsergebnis. Der eigentliche Abtragsprozeß läuft in einem Dielektrikum ab, das für die Erhöhung der Energiedichte, die Kühlung der Elektrode und des Werkstücks und für den Abtransport der Abtragspartikel verantwortlich ist. Für die Bereitstellung der elektrischen Energie werden spezielle Generatoren (Funkenerosive Senk- oder Schneidgeneratoren) verwendet, die eine Folge von Spannungs- bzw. Stromimpulsen veränderlicher Amplitude und Dauer erzeugen. Dabei legen die gewählte Stromamplitude und Impulsdauer und -pause im Zusammenspiel mit der Maschineneinstellung das Abtragsergebnis fest. Die kontinuierliche Nachführung der Elektrode zur Einstellung eines abtragsoptimalen Spaltabstandes übernimmt die Spaltweitenregelung. Zur Verhinderung und Behandlung von Fehlentladungen und Kurzschlüssen verfügt eine Erodieranlage über eine "Lichtbogen- und Kurzschlußerkennung". Eine kontinuierliche, prozeßangepaßte, online-Adaption der Prozeßparameter ist für die Sicherstellung optimaler Arbeitsbedingungen von großem Vorteil. Neben den Generatoren und der Vorschubregelung kommt der adaptiven Prozeßoptimierung maßgebliche Bedeutung für die Performanz einer funkenerosiven Anlage zu. Die Grundlagen zur automatischen Optimierung des Erosionsprozesses wurden in den 60er Jahren entwickelt [Sch64]. Die Erforschung und Verbesserung der Prozeßoptimierung in der Funkenerosion war und ist bis heute Gegenstand zahlreicher Arbeiten [Kur72] [Eng75] [Bar76] [Kru79] [Dau85] [Slo89] [Deh92] [Ode95]. Aus der reinen Senkerosion sind die Planetärerosion [Beh88] [Slo89], die Rotationserosion mit schnell rotierendem Werkzeug [Was93] und die Bahnerosion [KLC92] hervorgegangen.

Die Analyse des funkenerosiven Abtragsprozesses zur Verdeutlichung der Zusammenhänge der am Abtragsprozeß beteiligten energietragenden elektrischen Größen führt auf ein Prozeßführungssystem für die funkenerosive Senkbearbeitung. Die Systembetrachtung orientiert sich dabei am Energiefluß im funkenerosiven Abtragssystem. Die Untersuchungen zur Zündwilligkeit des Funkenspalts und zur Charakterisierung einzelner Entladungen im Hinblick auf deren Abtragswirksamkeit führen zusammengenommen zu einer sehr wirksamen Prozeßstabilisierung. Dieser Ansatz beinhaltet die Spaltweitenregelung, die Lichtbogenerkennung und -reaktion und die prozeßangepaßte Bewegungsspülung. Das daraus abgeleitete System verbindet diese Prozeßstabilisierung mit Methoden der unscharfen Prozeßklassifikation und der gedächtnisbasierten Steuerparametereinstellung zu einem integralen "*Hierarchischen Prozeßführungssystem*".