

9 Zusammenfassung und Ausblick

Gegenstand dieser Arbeit war die Untersuchung von Methoden zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Prozeßsicherheit bei funkenerosiven Senkanlagen. Die Komplexität des Abtragsprozesses verlangt ein Zusammenwirken von Maschinenbau, Leistungselektronik, Steuerungstechnik und Informationstechnologie. Aus diesem Grund wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt. Die innerhalb dieser Arbeit entstandene Versuchsanlage erlaubt es, neben den physikalischen Phänomenen während des Entladungsvorgangs auch die Spaltweitenregelung und Generatorsteuerung zu betrachten.

Eine Spaltsensorik zur gleichzeitigen Erfassung verschiedener charakteristischer Merkmale bei jeder Funkenentladung wurde für die Untersuchung lichtbogenartiger Fehlentladungen entwickelt und genutzt. Dadurch konnten erstmals mehrere bekannte Verfahren zur Lichtbogenerkennung systematisch im Hinblick auf ihre Indikation und Übereinstimmung evaluiert werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse führten zu einer neuartigen Methode der Lichtbogendetektion über die Bewertung der Höhe der Brennspannung. Dieses Detektionsverfahren zeichnet sich im Vergleich zu anderen Methoden durch seine hohe Sensibilität aus und ist bei einer Vielzahl von Materialien anwendbar. Geprüft wurde die Bearbeitung von Stahl, Hartmetall und einer Titanlegierung mit Werkzeugelektroden aus Graphit, Kupfer und Wolframkupfer. Die Wirksamkeit wurde anhand von Abtragsversuchen belegt.

Im Unterschied zu Lichtbogenerkennungsverfahren, die zur Entscheidung die Zündphase eines Funkenüberschlags heranziehen, überwacht die entwickelte Methodik jeden Impuls während der gesamten Brenndauer. Dadurch ergibt sich eine erhöhte Wirksamkeit und gleichzeitig ein neuartiger Ansatz zur vereinfachten Technologiegewinnung. Bislang waren zur Ermittlung von Impulsparametern umfangreiche Abtragsversuche notwendig. Neben dem Aspekt der Abtragsleistung und des Verschleißes sind dabei die erzielbaren Oberflächenqualitäten und die Prozeßsicherheit die entscheidenden Faktoren. Die Einstellung der Entladedauer passend zum gewählten Entladestrom ist in diesem Zusammenhang von zentraler Bedeutung. Mit Hilfe des entwickelten Lichtbogenerkennungsverfahrens vereinfachen sich diese Technologieversuche erheblich. Durch Erfassung und statistische Auswertung der Zeitpunkte, zu denen innerhalb der Brennphase eine Entladung in einen Lichtbogen mutiert, ist es möglich, die für einen Entladestrom optimale Brenndauer direkt anzugeben. Diese vereinfachte Vorgehensweise zur Technologieermittlung wurde beispielhaft zur Gewinnung von Impulsparametern für den in der Medizintechnik gebräuchlichen Werkstoff TiAl6V4 angewendet.

Das mikroprozessor-basierte Prozeßführungssystem erlaubt die Implementierung unterschiedlichster Regelalgorithmen und bildet damit die Basis für die Untersuchung der Spaltweitenregelung. Moderne Funkenerosionsanlagen verwenden überwiegend die Zündverzögerungszeit als Eingangsgröße zur Spaltweitenregelung. Die stochastischen Schwankungen dieser Zustandsgröße führen jedoch zu einer unruhigen Pinolenbewegung.

Zwar bewirkt eine aufgrund der Regelung oszillierende Werkzeugelektrode einen Spüleffekt im Arbeitsspalt und trägt damit zur Reduktion der Lichtbogengefahr bei, jedoch verhindert dieses Bewegungsmuster die Einstellung einer für den Erosionsprozeß optimalen Spaltweite. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nachgewiesen werden, daß es durch ausschließliche Verwendung der relativen Kurzschluß- und Leerlaufhäufigkeiten möglich ist, den Funkenspalt präzise auf eine für den Prozeß optimale Größe einzustellen. Ein auf diese Art geregelter Vorschub ist gekennzeichnet durch eine langsame Zustellbewegung ohne oszillierende Anteile. Der auf diese Weise arbeitende Spaltweitenregler wurde mittels Fuzzy-Technologien implementiert und vergleichend getestet. Die Vorteile gegenüber einer Regelung auf Basis der Zündverzögerungszeit bestehen in der Reduktion des Werkzeugelektrodenverschleißes und in der Steigerung der Abtragsleistung bei der Schlichtbearbeitung.

Da sich während des Bearbeitungsvorgangs die Prozeßbedingungen kontinuierlich ändern, ist es zur Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit notwendig, den Spaltweitenregler anzupassen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine derartige Adaption durch ein künstliches Neuronales Netz realisiert. Der Vorteil Neuronaler Netze besteht in der Lernfähigkeit. So ist etwa bei der Fuzzy Logik umfangreiches Prozeßwissen notwendig, um einen Regelalgorithmus zu implementieren. Ein neuronales Netz benötigt lediglich Trainingsdaten und erlernt damit das von ihm gewünschte Verhalten. Damit der Spaltweitenregler durch ein Neuronales Netz adaptiert werden kann, wurden im Rahmen von Abtragsversuchen mit manueller Regleradaption Trainingsdaten ermittelt. Durch diese Daten erlernt das Neuronale Netz welche Adaptionsmaßnahmen in bestimmten Prozeßzuständen eine Verbesserung bewirken können. Das derartig trainierte Neuronale Netz vermag dann in der Anwendung bei ähnlichen Prozeßsituationen eine entsprechende Adaptionsmaßnahme durchzuführen. Die Leistungsfähigkeit dieser Regleradaption wurde anhand von unterschiedlichen Erodieraufgaben gezeigt.

In der praktischen Anwendung der Erosionstechnologie wird die reine Senkbearbeitung zumeist durch die Bahn- und Planetärerrosion ersetzt. Aus diesem Grund wurde auch die mehrachsige Bearbeitung innerhalb dieser Arbeit betrachtet. Durch die Entwicklung einer speziell auf die Funkenerosion angepaßten numerischen Steuerung konnten charakteristische Anwendungsformen der Bahn- und Planetärerrosion auf der Versuchsanlage ausgeführt werden. Dadurch war es möglich, die innerhalb der reinen Senkbearbeitung erzielten Ergebnisse auch bei dieser Anwendungsform der Erosionsbearbeitung zu überprüfen. Der Vorteil, der durch die Lichtbogenerkennung und NeuroFuzzy-Spaltweitenregelung bei der Bahn- und Planetärerrosion erzielt werden kann, wurde auf diese Weise nachgewiesen.

Der Aufbau des entwickelten Systems orientiert sich an der offenen Steuerungsarchitektur, die durch den Standard OSACA definiert wird. Mit der Umsetzung der OSACA-Architektur in den Bereich der Funkenerosion ergeben sich Vorteile bei der rechnergestützten Vernetzung von Fertigungseinrichtungen etwa zur Bildung von Prozeßketten.

Ansatzpunkte für weiterführende Arbeiten ergeben sich im Bereich der Lichtbogenerkennung durch die Untersuchung der physikalischen Phänomene im Zusammenhang mit der Fehlentladungsmutation. Bei dem in dieser Arbeit entwickelten Erkennungsverfahren für lichtbogenartige Fehlentladungen wird davon ausgegangen, daß eine normal beginnende Funkenentladung sich im Verlauf der Brennphase in einer Fehlentladung verwandeln kann. Der Nachweis erfolgte empirisch durch Abtragsversuche. Von einer Analyse der physikalischen Zusammenhänge im Moment der Mutation können wertvolle Impulse für umfassende Strategien zur Vermeidung und Behandlung von Fehlentladungen ausgehen.

Die Übertragung der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse auf das Anwendungsfeld der Mikrobearbeitung bildet einen weiteren Anknüpfungspunkt. Die Mikroerosion ist gekennzeichnet durch kleinste Energiemengen, die dem Bearbeitungsprozeß zugeführt werden. Bezogen auf die Impulsparameter lassen sich kleinste Entladeenergien durch geringe Entladeströme und sehr kurze Entladedauern realisieren. Durch die kurzen Entladedauern sinkt zwar die Gefahr von Prozeßentartungen infolge lichtbogenartiger Fehlentladungen. Die bei der Mikrobearbeitung vorherrschenden extrem kleinen Erosionsspaltweiten bergen jedoch die Gefahr von Oberflächenbeschädigungen infolge von Kurzschlüssen. Durch die in dieser Arbeit entwickelte Regelstrategie auf der Basis der relativen Leerlauf- und Kurzschlußhäufigkeiten ist es möglich, Kurzschlüsse weitgehend zu vermeiden. Die Anwendung der entwickelten Regelstrategie innerhalb der Mikroerosion bietet damit das Potential, Verbesserungen in diesem Bereich zu erzielen.