

Prozeßnahe Einzelentladungen zur Analyse des Funkenerodierens

Ein Beitrag zur Fertigung miniaturisierter Formelemente

K. Künanz, H. Juhr, E. Knösel, R. Haas

Inhalt Die Variation der Versuchsanordnung bei der Einzelentladung erfolgte mit dem Ziel, die im Folgeprozeß vorherrschenden Bedingungen nachzuempfinden. Die mit der prozeßnahen Einzelentladung entstandenen Krater weisen deutlich auf Entladungsvorgänge hin, welche bei Einzelentladungen ohne Beeinflussung durch Abtragpartikel nicht zu beobachten sind. Es kann vermutet werden, daß diese Vorgänge auch im Folgeprozeß eine Rolle spielen.

Process near single sparc discharges for raise of transparency of the appearing event at EDM

Abstract The variation of the experimental setup at single sparc discharges was carried out with the aim to simulate the predominant conditions in the continuous process. The craters arisen with the process near single sparc discharges point out clearly which ones to watch not at single sparc discharges without influence of discharge particles are on discharge processes. It can be supposed that these events play a roll also in the continuous process.

1 Einleitung

Der mit der Verbreitung der Mikrosystemtechnik einhergehende zunehmende Anteil miniaturisierter Bauformen und teilweise neuartiger, schwerbearbeitbarer Werkstoffe stellt eine gegenwärtig aktuelle Herausforderung an die Fertigungstechnik dar und rückt vor allem die abtragenden Fertigungsverfahren wieder in den Blickpunkt des Interesses. Besonders für die Elektroerosion ergeben sich neue Anwendungsfelder, da sie mit ihren spezifischen Möglichkeiten und ihrem Innovationspotential eine besondere Relevanz für die Bearbeitung miniaturisierter Formelemente aufweist. Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Funkenerodierens, als prädestiniertes Verfahren für die Mikrobearbeitung, erscheint die bessere Transparenz der physikalischen Vorgänge bei der Entladung für die Technologieoptimierung und für eine gezielte Generatorentwicklung von besonderem Interesse.

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Künanz
Dipl.-Ing. H. Juhr, Dr.-Ing. E. Knösel
Technische Universität Dresden,
Institut für Produktionstechnik, 01062 Dresden
Tel. (03 51) 463-23 40, Fax (03 51) 463-77 06

Dr.-Ing. R. Haas
Walter-exeron GmbH
Hafnerweg 9, 78737 Fluorn-Winzeln

2 Ausgangssituation

Da die Vorgänge an der Wirkstelle sich zum einen in der Regel auf ein sehr kleines Gebiet beschränken und zum anderen äußerst schnell ablaufen, fällt deren direkte Visualisierung zumeist noch schwer. Die geometrischen Verhältnisse eines nicht dahingehend modifizierten Erodierprozesses lassen außerdem eine Observierung der Entladungsstelle normalerweise schlecht zu. Das Einzelentladungsexperiment ist in der Forschung seit langem Praxis [1 - 3], kann jedoch für eine Analyse eines kontinuierlichen Erodierprozesses (Folgeprozeß) nur begrenzt Aussagen liefern. Hierbei werden die Entladungswirkungen (Kratererscheinungen auf der Oberfläche der Elektroden) für die Deutung der Entladungsvorgänge herangezogen.

Damit der durch die Einzelentladung entstehende Krater einer sinnvollen Auswertung zugänglich gemacht werden können, ist es zweckmäßig, ihn auf einer feinbearbeiteten Fläche zu plazieren. Dazu ist die Werkzeugelektrode traditionell als Kreiskegel ausgeprägt, welcher einer polierten ebenen Fläche gegenübersteht. Die Spitze des Kreiskegels ermöglicht durch eine Erhöhung der Feldstärke im Entladungsgebiet eine problemlose Zündung. Der Entladungsort kann somit sehr genau eingeeignet werden.

3 Vorgehensweise für die experimentellen Untersuchungen

Die Versuchsbedingungen bei der Einzelentladung müssen geeignet sein, den Vorgang weitgehend so verlaufen zu lassen, daß Rückschlüsse auf Entladungen in einem kontinuierlichen Prozeß (Folgeprozeß) gezogen werden können. Nur auf diese Weise ist eine Beurteilung des Folgeprozesses durch Einzelentladungen sinnvoll. Die großen geometrischen Unterschiede zwischen der in dieser Versuchsanordnung verwendeten Form der Werkzeugelektrode und der sich im Folgeprozeß gegenüberstehenden führten dazu, die Gestalt beider Elektrodenoberflächen so zu wählen, daß sie im gewünschten Entladungsgebiet praktisch der einer Ebene entspricht. Weiterhin lag es nahe, den Einfluß der Kontamination des Arbeitsspalt mit Gas und Abtragpartikeln (Spaltkontamination) während der Einzelentladung zum Tragen zu bringen.

Mit diesen Zielen entstanden drei verschiedene Versuchsanordnungen, von denen die erste den beschriebenen herkömmlichen Aufbau zeigt, um einen Vergleich zu bisherigen Ergebnissen vornehmen zu können. In der zweiten Versuchsanordnung wurde die angesprochene ebenennahe Ausprägung der Oberflächen beider Elektroden realisiert, daß heißt, es standen sich bei der Entladung aus Gründen der Durchführbarkeit Flächen geringer Krümmung gegenüber. Bei diesen auf eine räumlich

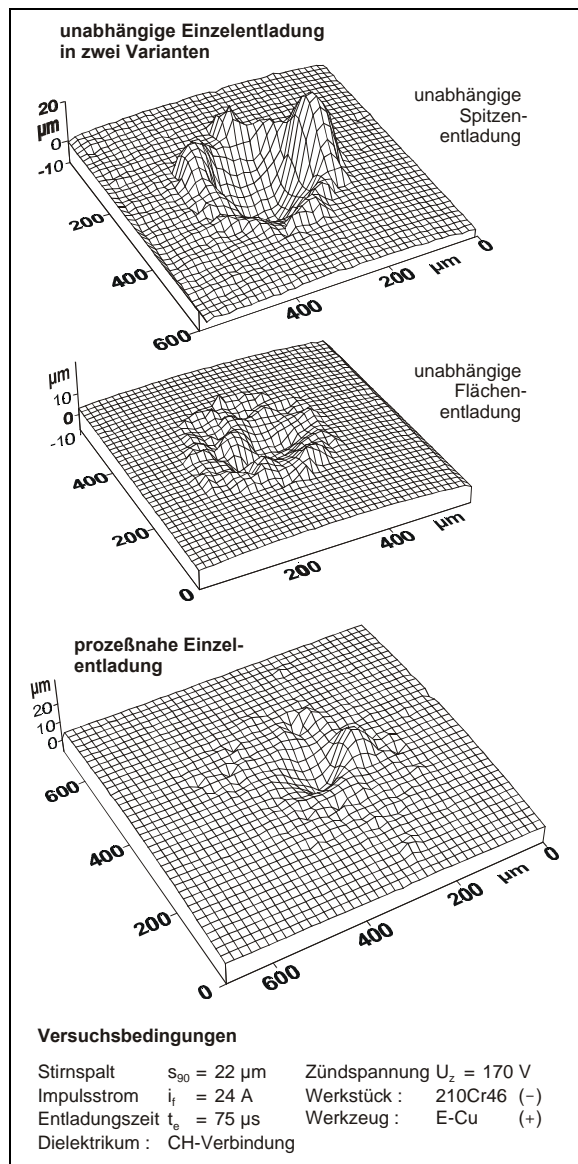


Bild 1: Varianten der Versuchsanordnung bei der Einzelentladung unter Verwendung verschiedener Versuchsanordnungen

beiden Versuchsanordnungen erfolgte die Einzelentladung wie bisher üblich, als einzelnes Funkenereignis im kalten, sauberen Dielektrikum. Beide Varianten werden wegen des fehlenden Einflusses vorangegangener Entladungen als *unabhängige Einzelentladungen* bezeichnet und wegen der Verständigung im folgenden *unabhängige Spitzenentladung* und *unabhängige Flächenentladung* genannt.

Im Gegensatz zu den beiden bisher beschriebenen Entladungsbedingungen ist der Arbeitsspalt im Folgeprozeß mit Gas und Abtragpartikeln durchsetzt. Weiterhin befindet sich die Temperatur dieses derart geprägtem Mediums auf einem durchschnittlich höherem Niveau. Da die Vermutung nahe lag, daß dieser Zustand auch im Zeitbereich der jeweils einzelnen Entladung einen Einfluß zeigt, wurde in der dritten Versuchsanordnung eine Einzelentladung realisiert, welche unter dem Einfluß der Spaltkontamination erfolgte. Dazu wurde wiederum die ebenennahe Ausprägung der Elektrodenflächen herangezogen. Diese Versuchsanordnung, welche als *prozeßnahe Einzelentladung* bezeichnet wird, realisiert zunächst einen kontinuierlichen Erosionsprozeß, aus welchem dann

und elektrisch separat angeordnete Fläche eine Einzelentladung plaziert wird. Diese Fläche ist hinreichend nahe an der wirksamen Erodierfläche des Folgeprozesses angeordnet, welcher die Spaltkontamination aufbaut.

Die Untersuchungen wurden auf einer Senkerodiermaschine (EXERON 302 K) in einem hierbei üblichen Pulsregime durchgeführt. Für die Durchführung der Entladungen kam der Originalgenerator dieser Maschine zum Einsatz. Durch Eingriffe in den Entladungskreis kann die Anzahl der zu erfolgenden Entladungen genau begrenzt werden. Die während des Entladungsvorgangs aufgezeichneten Verläufe der signifikanten elektrischen Entladungsgrößen können dem Entladungsvorgang genau zugeordnet werden. Auf diese Weise kann überprüft werden, ob die Entladung repräsentativ war. Die Untersuchungen wurden am Werkzeugstahl 210Cr46 durchgeführt. Als Werkstoff für die Werkzeugelektrode kam EDM-Kupfer zum Einsatz. Als Elektrodenabstand wurde der mittlere Stirrspalt eines optimal konfigurierten Folgeprozesses mit gleichen Pulsparametern zugrunde gelegt. Alle Entladungskrater wurden mit einer feingerasterten Abtastung der Oberfläche geometrisch erfaßt und damit einer Darstellung und Auswertung zugänglich gemacht.

4 Die Untersuchungsergebnisse und deren Deutung

Der Kraterbereich entspricht bei der *unabhängigen Spitzenentladung* der in der Literatur üblicherweise angegebenen Kugelkalottenform (Bild 1) [1,3]. Der Entladungsbereich bei der *unabhängigen Flächenentladung* hingegen zeigt einen unregelmäßigen Kratergrund. Aufwurfbereich und Kraterbereich sind im Gegensatz zu der *unabhängigen Spitzenentladung* nicht mehr klar trennbar. Bei der *prozeßnahen Einzelentladung* zeigt sich hingegen ein größerer Abschnitt der Oberfläche von der Entladung betroffen, als bei den beiden vorangegangenen Beispielen. Für diese Erscheinung liegt folgende Erklärung nahe: Bei der *prozeßnahen Einzelentladung* können die Fußpunkte des Plasmakanals ungehindert wandern. Diese Bestrebungen werden durch die elektrisch inhomogene Ausprägung des Arbeitsmediums unterstützt. Dadurch bilden sich verstreute Einzelkrater, welche sich teilweise durchdringen. Der unregelmäßige Kratergrund bei der *unabhängigen Flächenentladung* deutet ebenfalls auf Bewegungen des Plasmakanalfußpunktes hin, welche jedoch aufgrund des kalten, sauberen Dielektrikums weniger stark ausgeprägt sind. Nur bei der *unabhängigen Spitzenentladung* zeigt sich die bekannte Kugelkalottenform.

Damit kann folgerichtig angenommen werden, daß sich bei der Entladung beide Plasmakanalfußpunkte bewegen, wenn sie nicht aufgrund geometrischer Bedingungen daran gehindert werden. Genau diese Einschränkung liegt jedoch bei der *unabhängigen Spitzenentladung* vor. Der obere Plasmakanalfußpunkt ist an der Spitze der Werkzeugelektrode fixiert, es besteht geometrisch keine Ausweichmöglichkeit. Dadurch wird die Wärmeenergie konzentriert eingeleitet, wobei ein einzelner, tiefer Krater entsteht.

Mit der Versuchsanordnung der *prozeßnahen Einzelentladung* wurde weiterhin der Einfluß der Impulszeit auf die Kratermorphologie untersucht. Dabei ist insbesondere bei längeren Entladungsdauern bei Einzelentladungen unter der Einwirkung der Spaltkontamination eine signifikante Veränderung der Kraterform zu beobachten, die sich zunehmend von den bisherigen Beobachtungen unterscheidet. Bei dem im Bild 2 unten abgebildeten Krater erscheint der Kraterbereich mit erhöhter Entladungsdauer verstreuter. Die dabei auftretenden Kraterformen erscheinen bei Wiederholungen des Versuchs in einer großen Bandbreite. Offensichtlich wächst mit dem Fortschreiten der Entladungsdauer das stochastische Bewegungsbestreben der Plasmakanalfußpunkte.

Das bei der Bearbeitung von metallischen Werkstoffen bekannte Nachlassen der Abtragrate sowie der Oberflächenrauheit nach einem prägnanten Maximum wird bislang der Abnahme der lokalen Energiedichte und den zunehmend auftretenden Energieverlusten wegen der stetigen Ausdehnung des Durchmessers des Entladungskanals zugeschrieben [2]. Weiterhin wird angenommen, daß außer dem Absinken des Einzelentladungsvolumens eine Verflachung des Entladungskraters eintritt, welche eine Abnahme der Rauheit nach sich zieht [3].

Diese Ausdeutungen konnten anhand der vorliegenden Ergebnisse der Versuche mit der *prozeßnahen Einzelentladung* nicht bestätigt werden. Der durch die starke Bewegung der Plasmakanalfußpunkte bewirkte unregelmäßige und in Einzelkrater aufgeteilte Entladungsbereich weist hierbei möglicherweise bei längeren Entladungsdauern ein möglicherweise verringertes Entladungsvolumen auf. Diese Hypothese ist noch durch eine genaue numerische Analyse zu untermauern. Es ist weiterhin auf Grund der vorgestellten Beobachtungen denkbar, daß mit einer derartig ausgeprägten Kratermorphologie bei langen Impulsen im Folgeprozeß eine Verringerung der Rauheit nach einem erreichten Maximum durch zunehmende Bewegungen der Plasmakanalfußpunkte eintritt. Damit wäre eine zu [3] ergänzende, komplexere Hypothese für die Ursache dieses Zusammenhangs gegeben.

5 Fazit und Ausblick

Die Versuche mit der Versuchsanordnung der *prozeßnahen Einzelentladung* zeigen den großen Einfluß der Spaltkontamination auf die Erscheinung der Entladungskrater. Man kann davon ausgehen, daß diese Variante der Versuchsanordnung und -durchführung eine gute Widerspiegelung der Bedingungen bei einer Entladungen im Folgeprozeß realisieren kann. Deshalb wird dieser bisherige Weg für weitere Untersuchungen im Bereich sehr kleiner Entladungsenergien für erfolgversprechend erachtet.

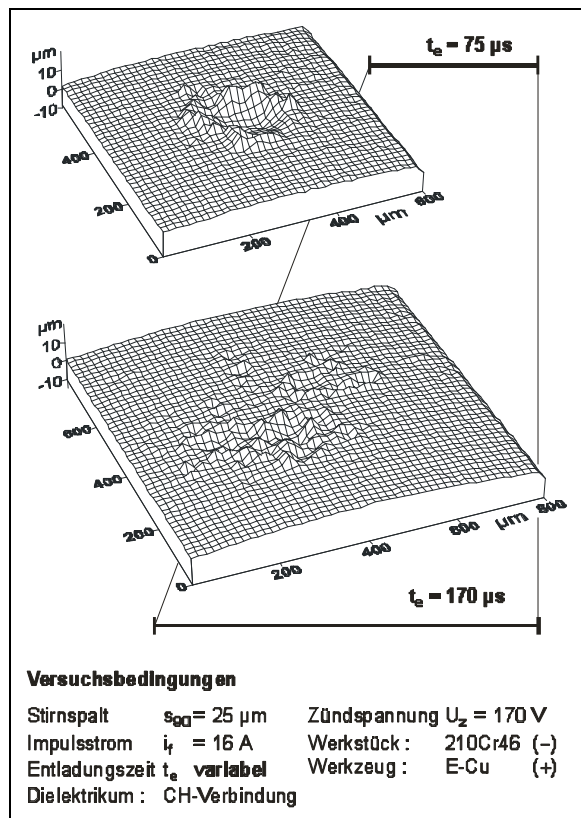


Bild 2: Einfluß der Entladungsdauer auf die Kratermorphologie unter Anwendung der prozeßnahen Einzelentladung

Literatur

- [1] Schönbeck, Joachim: Analyse des Drahterosionsprozesses.- Diss. TU Berlin, 1992
- [2] König, Wilfried: Fertigungsverfahren Band 3, Abtragen.- Düsseldorf: VDI, 1990
- [3] Jutzler, Wolf-Immo: Funkenerosives Senken - Verfahrenseinflüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit und die Festigkeit des Werkstücks.- Diss. RWTH Aachen, 1982
- [4] Wertheim, Rafael: Untersuchung der energetischen Vorgänge bei der funkenerosiven Bearbeitung als Grundlage für eine Verbesserung des Prozeßablaufs.- Diss. RWTH Aachen, 1975