

ECDM-Fertigungsverfahren: Chemisch als Alternative zur Elektroerosion

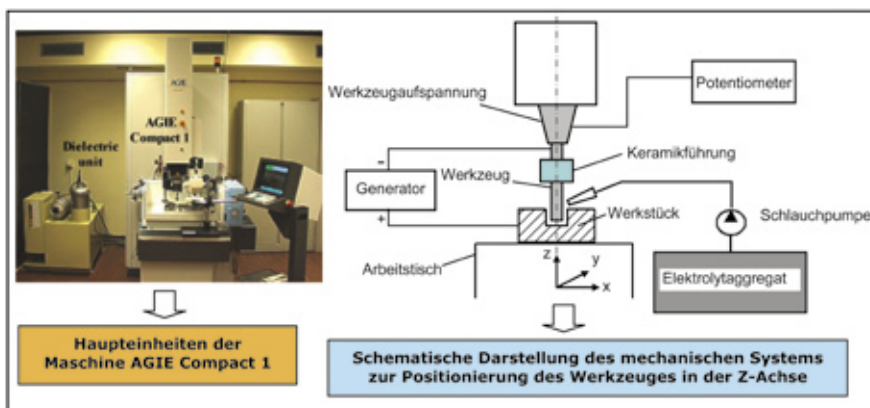
Mikrobohrungen präzise fertigen

Das Fertigungsverfahren ECDM (Electro Chemical Discharge Machining) ist eine der neuesten und technisch vielversprechendsten Technologien des aktuellen Maschinenbaubereiches zur Bearbeitung hochpräziser geometrischer Formen in metallischen Materialien.

Eine der möglichen technologischen Anwendungen dieses unkonventionellen Bearbeitungsverfahrens ist die Herstellung von Mikrobohrungen normalerweise

terner metallurgischen Struktur bei einer extrem hohen Abtragsrate zum bearbeitenden Material und einem sehr kleinen Werkzeugverschleiss produziert werden.

materials wird dann zuerst eine determinierte elektrische Spannung zwischen der Werkzeugelektrode und dem Werkstück angelegt, wobei sich inmitten von beiden eine chemisch neutrale Elektrolytlösung mit einer bestimmten elektrischen Leitfähigkeit in mS/cm befindet. Auf diese Weise trägt man eine volumetrische Quantität des bearbeitenden Werkstückmaterials sowohl durch eine elektrochemische Bearbeitung als auch mittels thermischer Effekte (elektrische Entladungen) ab. Es wird in der technischen Literatur erwähnt, dass die ECDM-Technologie sich um ein «kombiniertes bzw. hybrides» Fertigungsverfahren handelt, weil mit dieser Bearbeitungstechnologie der Materialabtrag eines metallischen Werkstückes mittels elektrochemischer Effekte (ECM-Bearbeitung) und auch durch eine funkenerosive bzw. thermische Bearbeitung (EDM-Bearbeitung oder Funkenerosion) vorgenommen werden kann. So wird das Arbeitsergebnis des Bearbeitungsprozesses einer Mikrobohrung mit der ECDM-Technologie (die oberflächliche Qualität der bearbeiteten Mikrobohrung, Materialabtrag und Werkzeugverschleiss) z. B. durch die totale Intensität der zwischen der Werkzeugelektrode und dem Werkstück (Elektroden) resultierenden elektrischen Leitfähigkeit der Elektrolytlösung und durch die Schmelztemperaturen und elektrochemischen Eigenschaften der Elektrodenmaterialien beeinflusst. Generell spricht man innerhalb des praktischen und theoretischen Kontextes der nächsten Kapitel dieses technischen Artikels im Wesentlichen von denjenigen wichtigsten elektronischen und mechanischen Charakteristiken einer Werkzeugmaschine zur hocheffektiven Einsetzung des ECDM-Verfahrens beim Bearbeitungsprozess von Mikrobohrungen



Werkzeugmaschine AGIE Compact 1 zur Bearbeitung von Mikrobohrungen mit der ECDM-Technologie.

mit Durchmessern kleiner als 0,5 mm für Einspritzkomponenten von Einspritzsystemen zu modernen Benzinmotoren. Mit der ECDM-Technologie können so geometrisch präzise Mikrobohrungen mit einer kleinen thermisch beeinflussten Zone in ihrer in-

Bei der Realisierung des Bearbeitungsprozesses einer Mikrobohrung mit der ECDM-Technologie gibt es keinen mechanischen Kontakt zwischen dem Werkzeug (Werkzeugelektrode) und bearbeitenden Werkstück. Zum Materialabtrag des Werkstück-

Autor

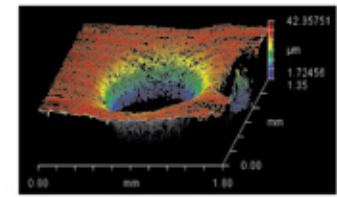
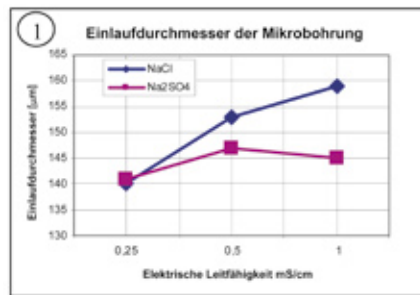
Alexandre de Souza ist Doktorand im Maschinenbau der technischen Universität Dresden im Bereich zu den Fertigungsverfahren, mit Forschungsthema seiner Dissertationsarbeit direkt verbunden bei der Entwicklung der ECDM-Technologie. Er ist auch der verantwortliche Ingenieur der Firma AS INPEED (Forschung und Entwicklung im Maschinenbau) in Brasilien mit Entwicklungstätigkeiten hinsichtlich der unkonventionellen Fertigungsverfahren zur Mikrobearbeitung.

Wagner de Rossi ist Doktor in Physik mit dem Forschungsthema von seiner Dissertationsarbeit, realisiert im Bereich zur Kernenergie, an der Universität von São Paulo in Brasilien. Aktuell ist er der Forschungsleiter des Laboratoriums für Laser und Anwendungen des IPEN (Institut für Forschung in Energie und Kernenergie) mit diversen publizierten Forschungsarbeiten, hinsichtlich der Benutzung von ultrakurzen Laserpulsen zur Mikrobearbeitung metallischer Materialien

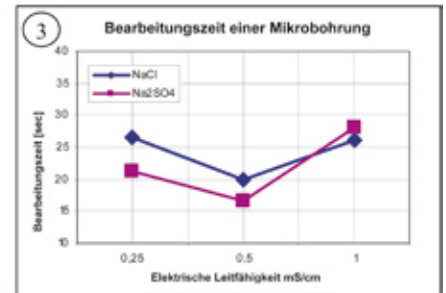
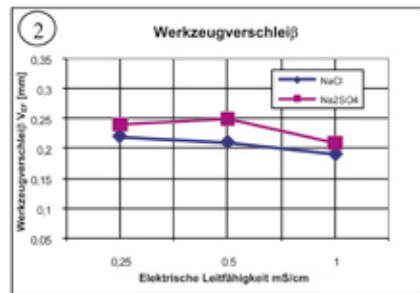
mit Durchmessern kleiner als 0,2 mm, dem Einfluss einiger ECDM-Prozessparameter auf das endgültige Arbeitsergebnis des Bearbeitungsprozesses (Einlaufdurchmesser der bearbeiteten Mikrobohrungen, Werkzeugverschleiss sowie Bearbeitungszeit) und zuletzt noch von einer technologischen Anwendung der ECDM-Technologie beim Herstellungsprozess von Mikrobohrungen für Einspritzsysteme (die sog. «gestuften Mikrobohrungen»). Im letzten Abschnitt dieses Artikels beschreibt man auch noch zusammengefasst als Schlussfolgerungen, grundsätzlich auf Basis der technologischen Beschreibungen zu den vorherigen Kapiteln, die zukünftigen Perspektiven des ECDM-Verfahrens als eine neue Fertigungstechnologie des Maschinenbaues.

Werkzeugmaschine zur Bearbeitung von Mikrobohrungen mit der ECDM-Technologie

Zur korrekten Einsetzung des ECDM-Verfahrens beim Herstellungsprozess von Mikrobohrungen mit Durchmessern kleiner als 0,2 mm, dessen experimentelle Ergebnisse im nächsten Kapitel dieses technischen Artikels ausführlich vorgestellt werden, wurde eine Werkzeugmaschine, die normalerweise zur funkenerosiven Bearbeitung von grossen geometrischen Hohlformen in metallischen Materialien (Senkerosion) verwendet wird, eingesetzt. Diese moderne Werkzeugmaschine, ein AGIE Compact 1 (Bild 1), setzt sich grundsätzlich aus dem Vorschubantrieb des Werkzeuges (Z-Achse), Arbeitsbehälter, Kreuztisch mit Servomotorantrieb, Generator und der Steuerungs- und Regelungseinheit der Z-Achse (mechanische Fixierung der Werkzeugelektrode) zusammen. Durch diese Werkzeugmaschine können dann Werkstücke mittels kontrollierter Verwendung eines Dielektrikums als Arbeitsmedium des Prozesses (deionisiertes Wasser) bearbeitet werden, wobei während des Bearbeitungsprozesses das zu bearbeitende Werkstück auf dem Kreuztisch (XY-Ebene, siehe hierbei Bild 1) und die Werkzeugelektrode innerhalb der Z-Achse der Werkzeugmaschine (vertikale Achse) positioniert und fest fixiert



Verrundungsradius am Einlaufdurchmesser der bearbeiteten Mikrobohrung



Wichtige erzeugte experimentelle Ergebnisse als Funktion der kontrollierten Variation von ECDM-Prozessparametern beim Bearbeitungsprozess von Mikrobohrungen.

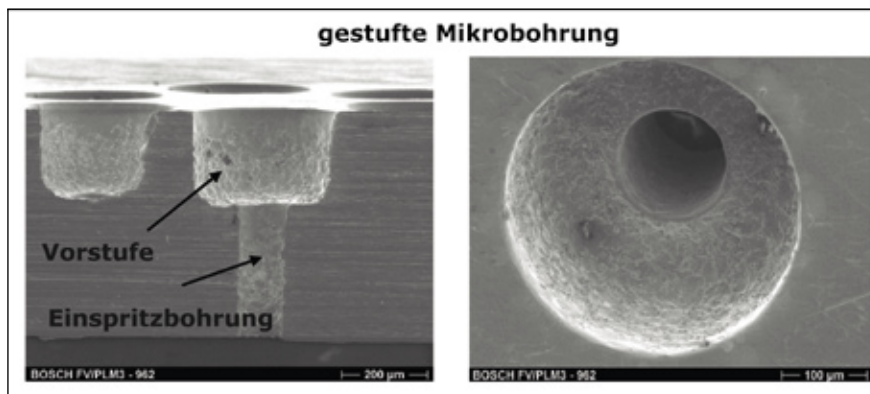
sind. Zur prozessgesicherten Bearbeitung von Mikrobohrungen durch die korrekte Verwendung der ECDM-Technologie wurden so wichtige sowohl mechanische als auch elektronische Modifizierungen im Hinblick auf die grundlegende Funktionsweise dieser EDM-Werkzeugmaschine vorgenommen. Die erforderlichen mechanischen Modifizierungen bestanden vor allem aus einem hochspeziellen Aufbau eines mechanisch geeigneten Aufspannsystems für die stabförmige Werkzeugelektrode mit Durchmesser von 0,1 mm und max. Länge von 300 mm (aus Wolfram). Normalerweise kann mit dieser Werkzeugmaschine der funkenerosive Bearbeitungsprozess einer determinierten geometrischen Form in metallischen Werkstücken durch die Verwendung einer Werkzeugelektrode mit max. Gewicht bis auf 70 kg realisiert werden. Die Anpassung der mechanischen Struktur der Werkzeugmaschine an die Werkzeugelektrode mit Durchmesser von 0,1 mm wurde durch den korrekten Einbau einer Keramikführung mit einem prismatischen Kanal in «V-Form» innerhalb der Z-Achse gemacht, zwischen dem zu bearbeitenden Werkstück und der Werkzeugaufspannung (Spindel), wodurch die mechanischen Schwin-

gungen der Werkzeugelektrode während ihrer senkrechten Einsenkbewegung im zu bearbeitenden Werkstück minimiert werden können. Die durch einen Potenziometer kontrollierbare Drehbewegung der Spindel erlaubt so die Einstellung der Drehgeschwindigkeit für die Werkzeugelektrode von bis zu 2000 RPM zur Durchführung des Bearbeitungsprozesses einer Mikrobohrung mittels ECDM-Technologie. Man schafft dadurch eine relative Bewegung zwischen dem zu bearbeitenden Werkstück und der Werkzeugelektrode in der XY-Ebene, ausser der relativen Bewegung entlang der Z-Achse der Werkzeugmaschine.

Hinsichtlich der elektronischen Modifizierungen der EDM-Werkzeugmaschine wurden in diesem Falle einige technisch wichtige Änderungen bei deren Regelungstechnik durchgeführt, sodass auf diese Weise der Bearbeitungsprozess mit der Verwendung einer Elektrolytlösung als Arbeitsmedium realisiert werden konnte. Diese elektronischen Anpassungen bestanden so vor allem aus einer hochspeziellen Änderung bei der sogenannten «Kurzschlusschwelle» der Regelungstechnik der Werkzeugmaschine. Vergleichsweise zur Realisierung eines Bearbeitungsprozesses mit der Verwendung eines Dielektrikums als Arbeitsmedium (deionisiertes Wasser) generiert man

immer mit der Benutzung einer Elektrolytlösung bei der Bearbeitung einer Mikrobohrung eine viel grössere Quantität elektrischer Kurzschlüsse im Arbeitsspalt während der Einsenk- bewegung der Werkzeugelektrode im zu bearbeitenden Werkstück. So ändert man hierbei die Kurzschluss- schwellen der Regelungstechnik, so- dass eine grössere Anzahl elektri- scher Kurzschlüsse innerhalb eines bestimmten Zeitraumes ohne stän- dige Nachregelungen der senkrech- ten Bewegung der Werkzeugelektrode während des ECDM-Bearbeitungs- prozesses einer Mikrobohrung erlaubt wird. Weiterhin wird die Elektrolyt- lösung in den Arbeitsspalt durch eine Schlauchpumpe mit einer extrem kleinen Druckpulsation und mit einem volumetrischen Durchfluss von 0,9 ml/sec gefördert, um die aus dem Bearbeitungsprozess resultierenden Abtragsprodukte wegzuspülen.

Durch eine geeignete Programmie- rung der Steuerungstechnik der Werk- zeugmaschine AGIE Compact 1 kann auch die Planetärbearbeitung einer Mikrobohrung mittels verschiedener Bewegungen des bearbeitenden Werkstückes in den unterschiedlich- sten Richtungen der linearen Achsen X und Y realisiert werden, obwohl die Werkzeugelektrode nur eine senk- rechte geregelte Bewegung entlang der Achse ausführt. Der Generator (eine Art von Relaxationsgenerator) ist eine der wichtigsten elektroni- schen Komponenten der Werkzeug- maschine, der das Werkstück und die Werkzeugelektrode (Elektroden) mit- einander elektronisch verbindet und ermöglicht grundsätzlich die feine Einstellung der zwischen den Elekt- roden angelegten elektrischen Span- nung und der gesamten Energie der elektrischen Entladung für den Ma- terialabtrag des Werkstückes durch einen Schmelzprozess. Ausserdem wird auch der Generator direkt mit dem modernen Regelungssystem der Werkzeugmaschine, das während des Bearbeitungsprozesses einer Mikro- bohrung die hochpräzise Kontrolle des totalen Abstandes zwischen dem Werkstück und der Werkzeugelekt- rode sowie die Geschwindigkeit der Zurückbewegung der Werkzeugelekt- rode bei einer unerwünschten Pro-



Vorstufe und Einspritzloch einer bearbeiteten gestuften Mikrobohrung mit der ECDM-Technologie.

zessabweichung (z. B. bei der Errei- chung einer bestimmten Quantität von elektrischen Kurzschlüssen in einer Zeitperiode innerhalb des Ar- beitsspalt) kontrolliert, elektro- nisch verbunden.

Experimentelle Ergeb- nisse mit der Einsetz- ung der ECDM-Technologie beim Bearbeitungs- prozess von Mikrobohrungen

Durch die Benutzung der Werkzeug- maschine AGIE Compact 1, modifi- ziert dann mechanisch und elektro- nisch zur Durchführung des ECDM- Verfahrens, wurde eine Serie von wichtigen experimentellen Untersu- chungen hinsichtlich der Einsetz- ung dieser Bearbeitungstechnik beim Her- stellungsprozess von geometrisch hochpräzisen Mikrobohrungen mit Durchmessern kleiner als 0,2 mm gemacht. Als Ausgangsvariablen der experimentellen Untersuchungen wur- den in diesem Fall der Einlaufdurch- messer der bearbeiteten Mikroboh- rungen (d. h. die Eintrittseite der Werk- zeugelektrode im Werkstück), die totale Bearbeitungszeit und noch der Werkzeugverschleiss in Abhängigkeit der kontrollierten Modifizierung der chemischen Zusammensetzung und elektrischen Leitfähigkeit der Elektrolytlösung (Bild 2) ausgewertet.

Die Erhöhung der elektrischen Leit- fähigkeit der Elektrolytlösung bis zu einer determinierten Intensität, die nicht die max. erlaubte Quantität von elektrischen Kurzschlüssen innerhalb des Bearbeitungsspalt durch die vorprogrammierte Regelungstechnik der Werkzeugmaschine AGIE Com-

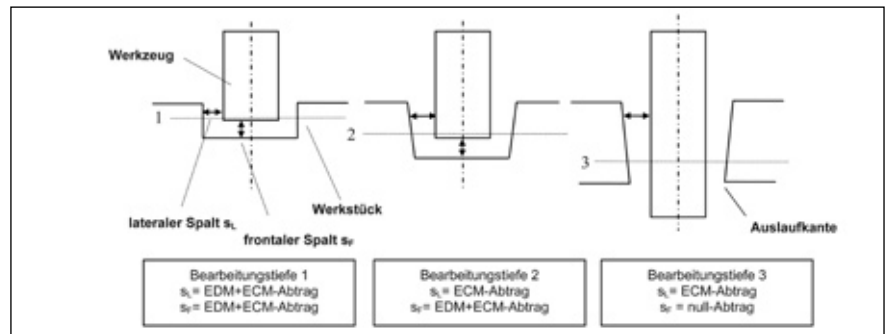
pact 1 überschritt, verursacht die Re- duzierung der totalen Bearbeitungs- zeit und die Heraufsetzung des Ein- laufdurchmessers der produzierten Mikrobohrungen. Die Verwendung hö- herer elektrischer Leitfähigkeiten in- nerhalb von determinierten technolo- gischen Grenzen provoziert die Stei- gerung der Energie der elektrischen Entladung (der thermische Energie- anteil des EDM-Prozesses) innerhalb des frontalen Bearbeitungsspalt zwischen der Werkzeugelektrode und dem Werkstück und dadurch eine Er- höhung des Materialabtrages mit der signifikanten Reduzierung der Bear-beitungszeit bei guten Spülungsbe- dingungen der Abtragsprodukte. In- nerhalb des lateralen Arbeitsspalt produziert dann die Erhöhung von elektrischer Leitfähigkeit der Elekt- rolytlösung eine grössere Quantität von Materialabtrag aus dem Werk- stück durch die elektrochemischen Phänomene des ECDM-Prozesses (ECM-Bearbeitung), was zu einer technisch signifikanten Steigerung der geometrischen Dimensionen des Arbeitsspalt führt.

Bild 3 erklärt zusammenfassend das grundlegende physikalische Prinzip von Materialabtrag einer Mikroboh- rung durch die Einsetzung der ECDM- Technologie. Beim Anfang des Bear-beitungsprozesses einer Mikroboh- rung befindet sich die Werkzeug- elektrode in der Bearbeitungstiefe 1, wobei dann hier sowohl ein elektro- chemischer als auch ein funkenersi- ver Materialabtrag in dem frontalen und lateralen Arbeitsspalt erfolgen. Bei der Bearbeitungstiefe 2 wird die Grösse des lateralen Arbeitsspalt

so gross, dass hier nur ein elektrochemischer Materialabtrag an der Bohrungswand der zu bearbeitenden Mikrobohrung stattfindet, wobei sicherlich noch innerhalb des frontalen Arbeitsspalt ein elektrochemischer und hauptsächlich ein funkenerosiver Materialabtrag der Mikrobohrung passiert. Bei einer Bearbeitungstiefe 3 erfolgt nur ein elektrochemischer Materialabtrag der Mikrobohrung. An dieser Bearbeitungstiefe (normalerweise eingestellt in 1,2 mm, wobei hier die totale Dicke des Werkstückes bzw. die gesamte Länge der Mikrobohrung 1 mm beträgt, d. h., die Werkzeugelektrode befindet sich 0,2 mm aus dem Auslaufdurchmesser der Mikrobohrung des zu bearbeitenden Werkstückes) wird der Generator der Werkzeugmaschine ausgeschaltet und die Werkzeugelektrode fährt wieder auf ihren Nullpunkt in der Z-Achse zurück. Die durch die ECDM-Technologie bearbeitete Mikrobohrung weist dann eine konische Form und einen ausgeprägten Verundungsradius an deren Einlaufdurchmesser, die mittels der Intensität der elektrischen Leitfähigkeit der Elektrolytlösung determiniert werden, auf.

Durch die hochpräzise Messung des totalen Werkzeugverschleisses nach dem Bearbeitungsprozess einer Mikrobohrung konnte in der experimentellen Praxis festgestellt werden, dass die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit der Elektrolytlösung die Reduzierung von dessen Intensität hervorbringt. Bei der Einstellung höherer elektrischer Leitfähigkeiten der Elektrolytlösung steigert man so generell die Quantität elektrochemischen Materialabtrages der bearbeitenden Mikrobohrung, wodurch eine kleinere Zahl von ECDM-Pulsen zur kompletten Bearbeitung einer Mikrobohrung im Vergleich zur Verwendung reduzierter Intensitäten von elektrischen Leitfähigkeiten notwendig ist, was auf jeden Fall zu einer merklichen Reduzierung des Werkzeugverschleisses beiträgt.

Bei den experimentellen Untersuchungen hinsichtlich der Grafiken des Bildes 2 wurden zwei chemische Arten von Elektrolytlösungen zur ECDM-Bearbeitung von Mikrobohrun-



Lateraler und frontaler Materialabtrag während des Bearbeitungsprozesses einer Mikrobohrung mit der ECDM-Technologie.

gen verwendet. Es handelt sich hierbei um NaCl (Natriumchlorid) und Na₂SO₄ (Natriumsulphat). Beide werden in der angewandten Chemie «als chemisch neutrale Elektrolyte» definiert, wobei NaCl eine «nicht passivierende Elektrolytlösung» ist. Na₂SO₄ ist definiert als «eine passivierende Elektrolytlösung», d. h., während des Bearbeitungsprozesses einer Mikrobohrung bildet sich dann eine Passivschicht bzw. eine festhaftende Oxidschicht mit einer hochspezifischen elektrischen Leitfähigkeit auf der elektrochemisch abtragenden Werkstückoberfläche, deren chemische Zusammensetzung durch die Legierungszusammensetzung des bearbeitenden Werkstückmaterials in direkter Kombination mit dem Typ passivierender Elektrolytlösung determiniert wird. Zusammenfassend, vergleichsweise zu NaCl, ermöglicht so die Elektrolytlösung aus Na₂SO₄ die Reduzierung der Bearbeitungszeit und des Einlaufdurchmessers der Mikrobohrung sowie die Erhöhung des Werkzeugverschleisses. Die passivierende Elektrolytlösung schafft durch die Entstehung einer passivierenden Schicht auf der Oberfläche der Mikrobohrung einen determinierten elektrischen Widerstand innerhalb des lateralen und frontalen Arbeitsspalt, dessen Intensität den elektrochemischen Materialabtrag der zu bearbeitenden Mikrobohrung im Vergleich zur Einsetzung des Elektrolyten aus NaCl reduziert, was die Verkleinerung des Durchmessers der Mikrobohrung hervorbringt. Die an der Wand der zu bearbeitenden Mikrobohrung ausgebildete passivierende Schicht provoziert im Vergleich zu NaCl bei derselben Intensität elektrischer Leitfähig-

keit von Elektrolytlösung die Minimierung der Quantität von elektrischen Kurzschlüssen während des ECDM-Bearbeitungsprozesses, obwohl mit der Benutzung von Na₂SO₄ eine enorme Zahl von lateralen elektrischen Entladungen zwischen der Wand der bearbeitenden Mikrobohrung und der lateralen Oberfläche der Werkzeugelektrode erfolgt, was zu einer Heraufsetzung des Werkzeugverschleisses führt. Die Elektrolytlösung aus NaCl verursacht gegenüber Na₂SO₄ eine grosse Menge von elektrischen Kurzschlüssen und Abtragsprodukten innerhalb des Arbeitsspalt während des ECDM-Bearbeitungsprozesses, was auf jeden Fall die höheren Bearbeitungszeiten dieser Elektrolytlösung beim Bearbeitungsprozess von Mikrobohrungen durch die ECDM-Technologie erklärt.

Noch hinsichtlich einer direkten Vergleichung zwischen passivierender und nicht passivierender Elektrolytlösung kann man generell aus der Praxiserfahrung mit der ECDM-Technologie behaupten, dass die passivierende Elektrolytlösung eine bessere Oberflächenqualität zur bearbeiteten Mikrobohrung (ein kleiner Wert von oberflächlicher Rauheit) sowie einen stabilen Bearbeitungsprozess, d. h. ohne konstante Bewegungen von unerwünschten Nachregelungen der Werkzeugelektrode. Diese technische Bedingung ist extrem wichtig für eine robuste dimensionale Kontrolle der zu bearbeitenden Mikrobohrungen, wodurch bei einer Produktion in Serie von Mikrobohrungen eine grosse Wiederholbarkeit zur geometrischen Form der produzierten Mikrobohrungen erreicht werden kann.

Gestufte Mikrobohrung für Einspritzsysteme von Benzinmotoren

Durch eine hochspezielle Programmierung des Steuerungssystems der Werkzeugmaschine AGIE Compact 1 konnte der Bearbeitungsprozess von den sogenannten «gestuften Mikrobohrungen» mit der Einsetzung der ECDM-Technologie basierend auf denjenigen experimentellen Ergebnissen, die auf den Grafiken des Bildes 2 vorgestellt wurden, durchgeführt werden. Diese spezifische geometrische Form von Mikrobohrung wird üblicherweise in Einspritzventilen eines Benzin-Einspritzsystems zur Vermeidung von Verkokungsproblemen im Motor während dessen Betrieb verwendet. Die gestuften Mikrobohrungen, die hier mittels Einsetzung der ECDM-Technologie bearbeitet wurden, bestehen aus einer «Vorstufe» mit Durchmesser von 0,4 mm und Länge von 0,3 mm und eine Einspritzbohrung mit Durchmesser und Länge jeweils von 0,13 mm und 0,3 mm (Bild 4).

Für die Realisierung des Bearbeitungsprozesses der gestuften Mikrobohrungen wurden einige fixe Parameter definiert: stabförmige Werk-

zeugelektrode aus Wolfram und Durchmesser von 0,1 mm bei einer Drehgeschwindigkeit von 2000 RPM sowie Elektrolytlösung aus Na₂SO₄ mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 0,25 mm. Zuerst wird die Vorstufe der Mikrobohrung durch eine Planetärbewegung der Werkzeugelektrode mit einer determinierten Programmierungsstrategie bearbeitet. Anschliessend wird die Einspritzbohrung der Mikrobohrung durch das ECDM-Verfahren bearbeitet.

Man kann nach der Durchführung des Bearbeitungsprozesses beobachten, dass die bearbeitete Mikrobohrung sowohl in der Vorstufe als auch in der Einspritzbohrung aus zwei unterschiedlichen Arten von oberflächlichen Regionen besteht. Am Einlaufdurchmesser der Vorstufe und Einspritzbohrung der Mikrobohrung befindet sich eine oberflächliche Region mit einer extrem kleinen Rauheit aufgrund des starken elektrochemischen Materialabtrages. In den inneren oberflächlichen Zonen der Vorstufe und der Einspritzbohrung verifiziert man eine Struktur mit einer hohen Rauheit, typisch von einem Materialabtrag durch elektrische Entladungen. Diese zwei wichtigen Ar-

ten von oberflächlichen Strukturen innerhalb der bearbeiteten gestuften Mikrobohrung bestätigen sicherlich die elektrochemische und thermische Natur des Prinzips von Materialabtrag der ECDM-Technologie.

Schlussfolgerungen

Die Herstellung von Mikrobohrungen in metallischen Materialien durch die ECDM-Technologie ist sicherlich eine neue, technisch vielversprechende Möglichkeit, die als eine exzellente Alternative zu den anderen nicht konventionellen Bearbeitungsverfahren des Maschinenbaus steht. Die Entwicklung des ECDM-Verfahrens befindet sich praktisch in einer anfänglichen Phase. Hierbei existiert ein enormes Potenzial z.B. hinsichtlich der Entwicklung von hochmodernen Werkzeugmaschinen zur Bearbeitung von geometrisch präzisen Mikrobohrungen in den verschiedensten metallischen Werkstoffen zur Anwendung in unterschiedlichen technischen Bereichen. Die Konstruktion von modernen elektrischen Generatoren zur effektiven Erzeugung von aufeinanderfolgenden ECDM-Pulsen zwischen zwei Elektroden zum Realisieren des Materialabtrages ist in diesem Fall eine der interessantesten Möglichkeiten bezüglich der Entwicklung der ECDM-Technologie.

Der Bearbeitungsprozess eines Werkstückes durch die ECDM-Technologie ist stark durch die Intensität der elektrischen Leitfähigkeit und die chemische Art der Elektrolytlösung sowie durch die Einstellung der Parameter des Generators der Werkzeugmaschine beeinflusst, wobei die Herstellung von Mikrobohrungen mit einer kleinen oberflächlichen Rauheit sowie einem reduzierten Werkzeugverschleiss bei einer hohen Abtragsrate zum bearbeitenden Material möglich ist. (bf)

Bibliographie

I. Basak, A. Ghosh. Mechanism of Spark Generation During Electrochemical Discharge Machining: a Theoretical Model and Experimental Verification. *Journal of Materials Processing Technology*, Band 62 (1996) Heft 1–3, S. 46–53.

T. H. Drake, J. A. Mc Geough. Aspects of Drilling by Electrochemical Arc Machining. *Proc. of the 22th Int. Machine Tool Design and Res. Conf.*, Manchester, 1981, S. 361–369.

A. Kulkarni, R. Sharan, G. K. Lal. An Experimental Study of Discharge Mechanism in Electrochemical Discharge Machining. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Band 42 (2002), S. 1121–1127.

J. A. McGeough, A. de Silva. Surface Effects on Alloys Drilled by Electrochemical Arc. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Band 200 (1986) Heft B4, S. 237–246.

J. A. McGeough, X. W. Ni, C. A. Greated. An Optical Study of Electrical Discharge in Electrochemical Arc Machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Band 204 (1990) Heft B1, S. 63–73.

J. A. McGeough, A. de Silva, J. Wang. Hybrid Electrochemical/Electro discharge Machining Processes. *AMST' 90, Advanced Manufacturing Systems and Technology*, 2th Int. Conf., Band 2 (1990), S. 547–555.

J. A. McGeough, X. W. Ni, C. A. Greated. A Study of Electrical Discharges in Electrolyte by High Speed Photography. *J. Electrochem. Society*, Band 140 (1993) 12, S. 3505–3512.

M. Schöpf. ECDM Abrichten metallgebundener Diamantschleifscheiben. *Dissertation*, ETH Zürich, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik, Nr. 580, 2001.

M. Z. Skrabalak, A. Ruszay, M. Chuchro. The Possibilities of Electrochemical/Electro discharge Machining in the Surface Finishing. *Proceedings of the 11th International Symposium on Electromachining*, Lausanne, April 17–21, 1995, S. 593–601.

G. Skrabalak, M. Z. Skrabalak, A. Ruszay. Building of Rules Base for Fuzzy-Logic Control of the ECDM Process. *Journal of Materials Processing Technology*, Band 149 (2004) Heft 1–3, S. 530–535.

Infos

Dipl. Ing. M. Sc. Alexandre de Souza, AS Ingpeed
www.ingpeed.vila.bol.com.br
Blumenau-SC, Brasilien

Dr. Phys. Wagner Rossi, IPEN
www.ipen.br
São Paulo, Brasilien