

Wissenswertes zur Senkerosion



Inhalt

1	Technologie des Senkerodierens	5
2	Dielektrikum bei der Funkenerosion	17
3	Aufgaben des Dielektrikums	17
4	Anforderungen an das Dielektrikum	18
5	Beurteilungskriterien für Dielektrika	18
6	Spülen bei funkenerosiver Bearbeitung	22
7	Filtration des Dielektrikums	23
8	Beeinflussung des Werkstückes durch das funkenerosive Bearbeitungsverfahren	26
9	„IONOPLUS®“ - ein neuer Weg zu besseren Dielektrika	30
10	Dielektrikum IME 63, IME 82, IME 110, IME 126	32
11	Dampfbildung bei der Funkenerosion	35
12	Dielektrikum und die menschliche Haut	35
13	„7 goldene Regeln“ im Umgang mit dem Dielektrikum	36
14	Wirkung einer funkenerosiven Entladung auf die Metalloberfläche	37
15	Sicherheit und Umwelt - Auszug aus der VDI-Richtlinie 3402 für Senkerodieranlagen	42





1. Technologie des Senkerodierens

Einführung

Funkenerosion ist ein modernes Bearbeitungsverfahren, das entscheidende Vorteile bietet und deshalb in immer größerem Maß angewendet wird. Ein praktisches Beispiel steht hier für die zahllosen Möglichkeiten in der Metallbearbeitung. Eine Preßform für Glaswaren. Im Boden die Ausstoßeröffnung. Der passende Ausstoßer rechts davon. Beides in einem

Arbeitsgang erodiert. Ein schwieriges Werkstück, rasch und genau bearbeitet. Aber wie funktioniert das alles? Wie kann man sich Abtragen mit Funkenerosion vorstellen? Die meisten Vorgänge sind ja leider nicht sichtbar. Versuchen wir, mit Modellen und Schemas eine Vorstellung zu gewinnen.



Das Prinzip

Das Prinzip des Senkerodierens ist einfach. Werkstück und Werkzeug werden so in Arbeitsposition gebracht, daß sich beide nicht berühren. Es bleibt ein Spalt, der mit einer isolierenden Flüssigkeit gefüllt wird. Die Bearbeitung erfolgt deshalb in einem Behälter. Werkstück und Werkzeug sind über Kabel an eine Gleichstromquelle angeschlossen. In einer Leitung liegt ein Schalter. Wird dieser geschlossen, entsteht zwischen Werkstück und Werkzeug eine elektrische Spannung. Zunächst fließt kein Strom, weil das Dielektrikum zwischen Werkstück und Werkzeug isoliert. Wird nun der Zwischenraum verkleinert, schlägt bei einem be-

stimmten, sehr geringen Abstand ein Funke über. Bei diesem, auch als Entladung bezeichneten Vorgang wird Strom in Wärme umgesetzt. Die Materialoberfläche erhitzt sich im Bereich des Entladekanals sehr stark. Unterbricht man nun den Stromzufluß, fällt der Entladekanal sehr schnell zusammen. Dadurch verdampft die Metallschmelze an der Materialoberfläche explosionsartig und reißt bis zu einer gewissen Tiefe flüssiges Material mit. Es bildet sich ein kleiner Krater. Folgt nun Entladung auf Entladung, so entstehen Krater neben Krater und eine stetige Abtragung an der Werkstückoberfläche. (Bild 1)

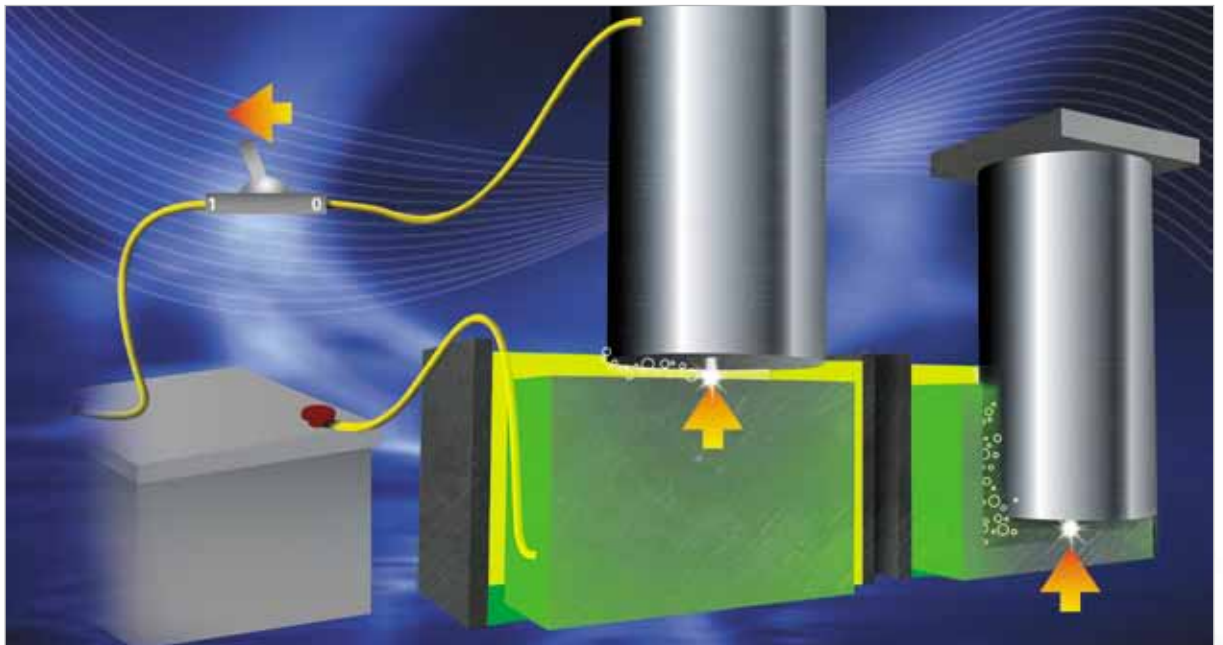


Bild 1

Der Funkenspalt

Die zwischen Elektrode und Werkstück angelegte Spannung und der Entladestrom haben einen zeitlichen Verlauf, der jeweils unter den Bildern der einzelnen Phasen gezeigt ist. Beginnen wir also links: Die Spannung baut im gesamten Elektrodenzwischenraum ein elektrisches Feld auf. Durch die Kraftwirkung dieses Feldes und die geometrische Beschaffenheit der Oberflächen konzentrieren sich in der Flüssigkeit schwebende, leitende Partikel an der Stelle größter Feldstärke. Dies führt zur Bildung

einer Brücke, wie in der Bildmitte sichtbar. Gleichzeitig werden aus der negativ geladenen Elektrode negativ geladene Teilchen herausgeschleudert. Sie stoßen mit neutralen Teilchen im Elektrodenzwischenraum zusammen und werden aufgespalten. So entstehen negativ und positiv geladene Teilchen. Der Vorgang breitet sich lawinenartig aus und wird Stoßionisation genannt. Brücken aus leitenden Partikeln fördern diese Entwicklung. (Bild2)

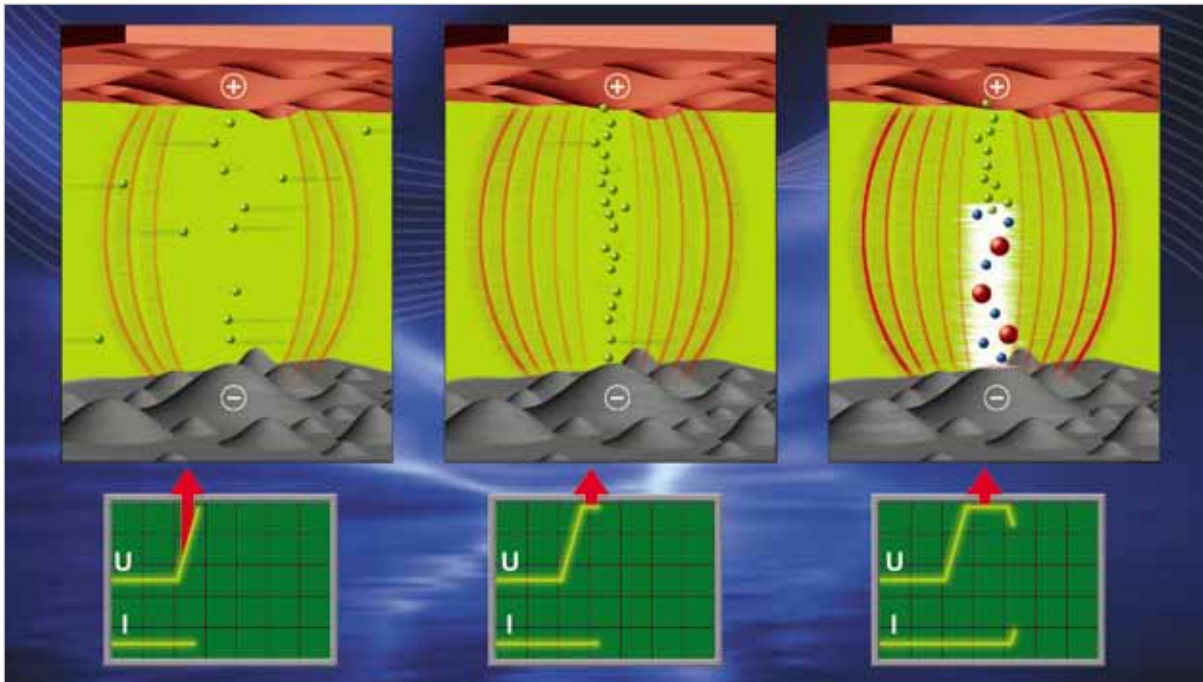


Bild 2

Wir sehen hier wieder, was in Wirklichkeit nicht sichtbar ist: Die positiv geladenen Teilchen wandern zur negativen Elektrode, die negativen nach positiv. Es fließt elektrischer Strom. Dieser Strom

nimmt bis zu einem Höchstwert zu, wobei Temperatur und Druck weiter steigen. Dadurch bildet sich auch die Dampfblase weiter aus, wie man im Bild 3 sieht.

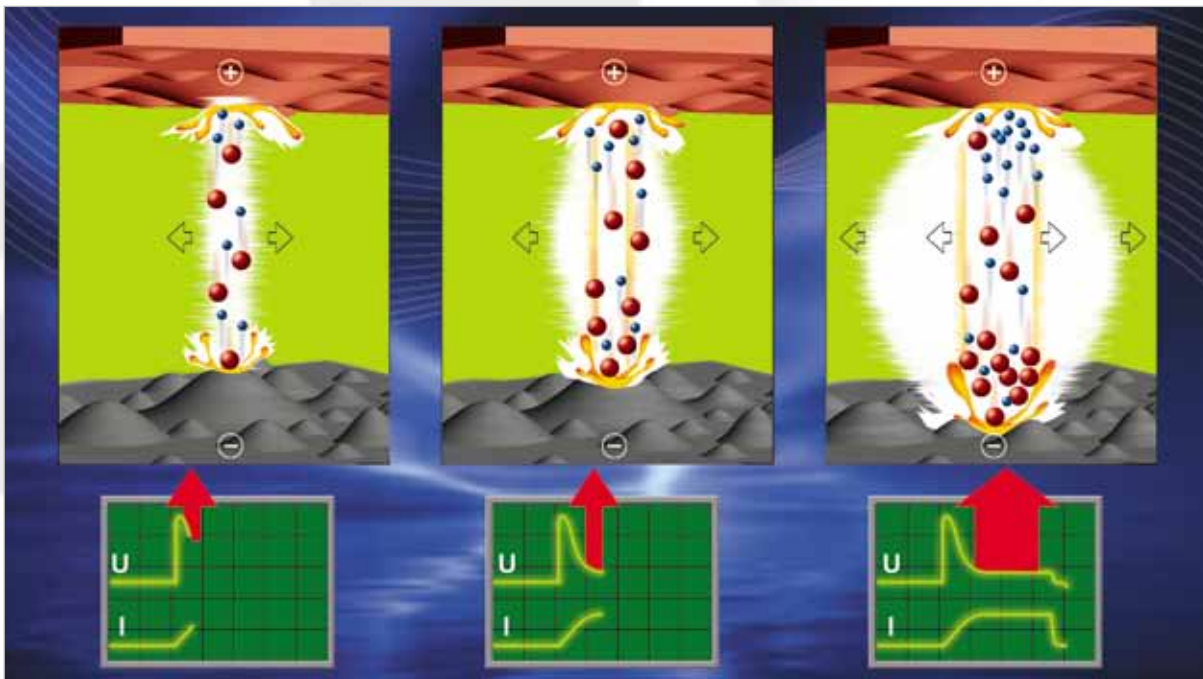


Bild 3





Die Zusammenhänge zwischen Stromfluß und Wärme

Am Modell ist hier gezeigt, wie die Wärmezufuhr durch Stromabbau reduziert wird. Die Zahl der elektrisch geladenen Teilchen nimmt rapid ab und der Druck fällt zusammen. Mit ihm der Entladekanal. Die überhitzte Schmelze verdampft explosionsartig und

reißt geschmolzenes Material mit. Sodann fällt auch die Dampfblase zusammen und an Rückständen bleiben zuletzt Metallteilchen sowie Spaltprodukte aus der Arbeitsflüssigkeit. Überwiegend Graphit und Gas (Bild 4).

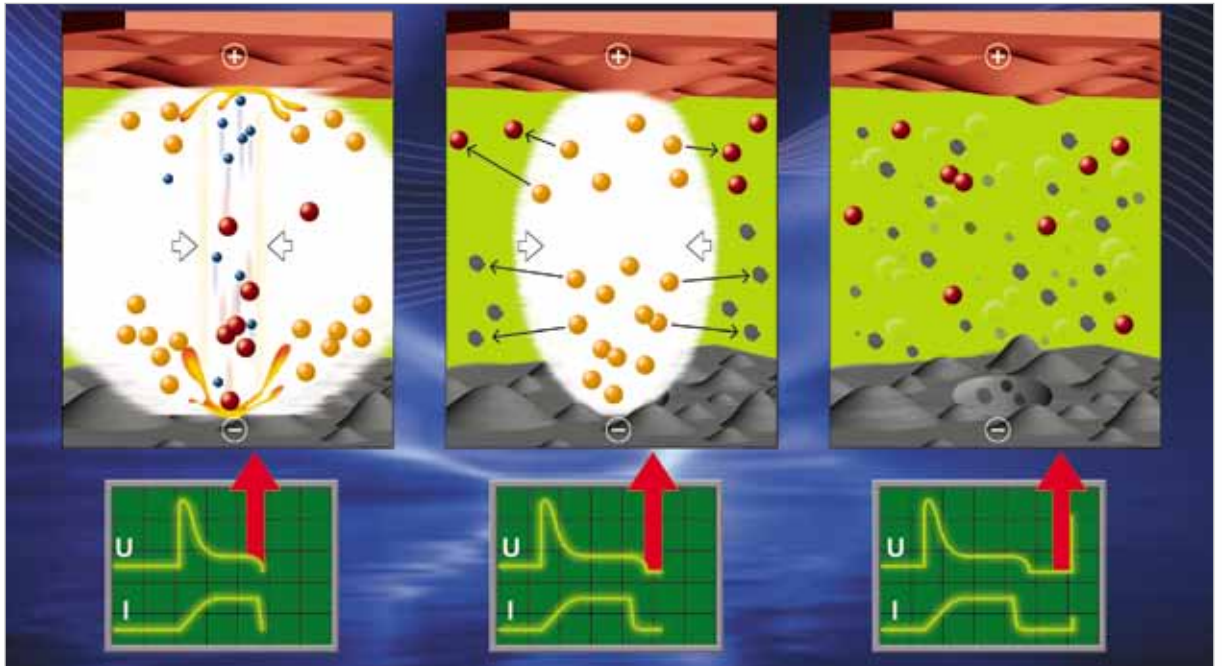


Bild 4

Versuchen wir am Modell die Zusammenhänge zwischen Stromfluß und Wärme sichtbar zu machen. In einer Ausschnittvergrößerung sehen wir unten die negative Elektrodenoberfläche, darüber ein Teil des Entladekanals. Auf die Metalloberfläche treffen positiv geladene Teilchen (hier rot) auf und versetzen Metallteilchen in stärkere Schwingungen, was einem Temperaturanstieg entspricht.

Bei genügend großer Geschwindigkeit können auch Metallteilchen (hier grau-gelb) herausgerissen werden. Eine Verbindung von positiv (rot) und negativ (blau) geladenen Teilchen hat eine Erhöhung der Schwingungen und damit der Temperatur der nun ungeladenen Teilchen zur Folge (Bild 5).

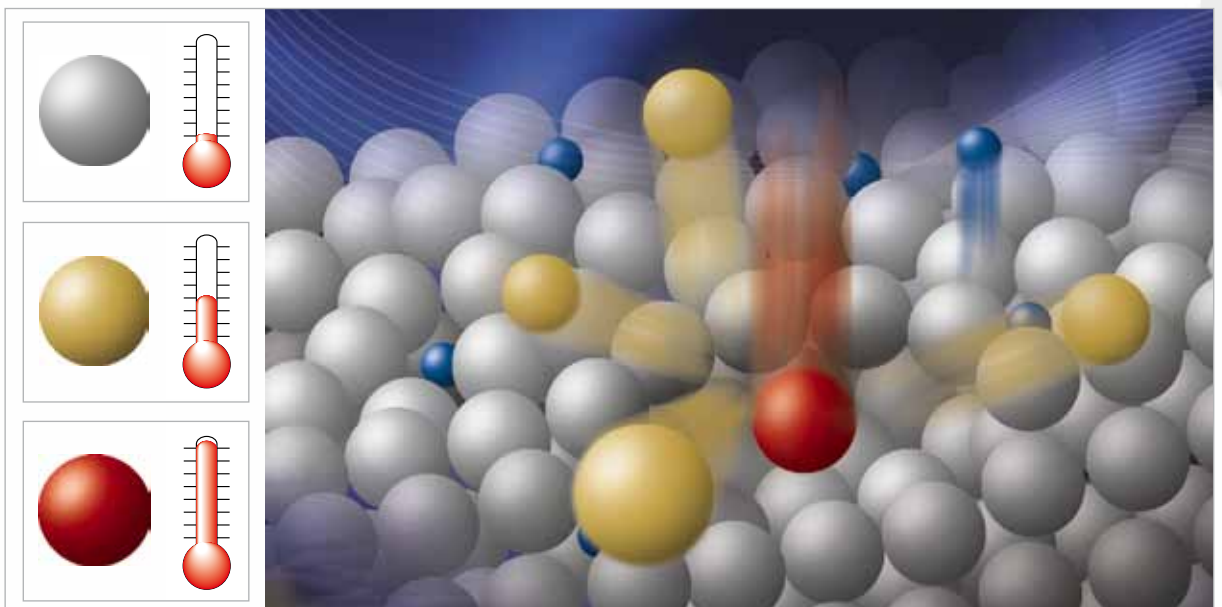


Bild 5

Wir wissen, daß die elektrische Energie bei der Entladung in Wärme umgesetzt wird. Diese erhöht den Entladekanal aufrecht, führt zur Bildung von Entladekratern an den Elektroden und erhöht die Temperatur des Dielektrikums (Bild 6).

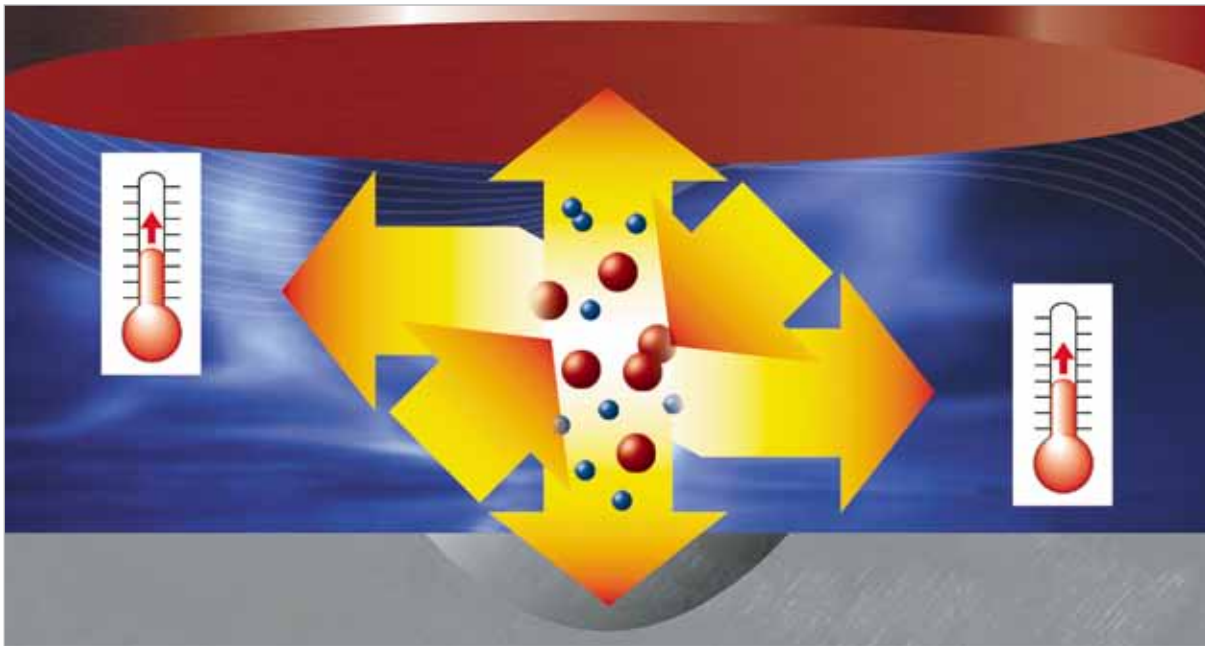


Bild 6

Die Polarität

Nun eine Erläuterung zur Polarität. Durch Austausch von negativ (blau) und positiv (rot) geladenen Teilchen entsteht im Entladekanal ein Stromfluß. Dabei erzeugen die Teilchen Wärme, die zum Schmelzen des Metalls führt. Bei sehr kurzer Impulsdauer sind mehr negativ als positiv geladene Teilchen in Bewegung. An der Auftreffelektrode

entsteht um so mehr Wärme, je mehr Teilchen einer Art sich auf diese zu bewegen. Wichtig ist auch, daß die positiv geladenen Teilchen infolge größerer Masse bei gleicher Auftreffgeschwindigkeit mehr Wärme erzeugen. Damit nun der Abtrag oder Verschleiß an der Werkzeugelektrode klein bleibt, wählt man die Polarität so, daß bis zum Ende

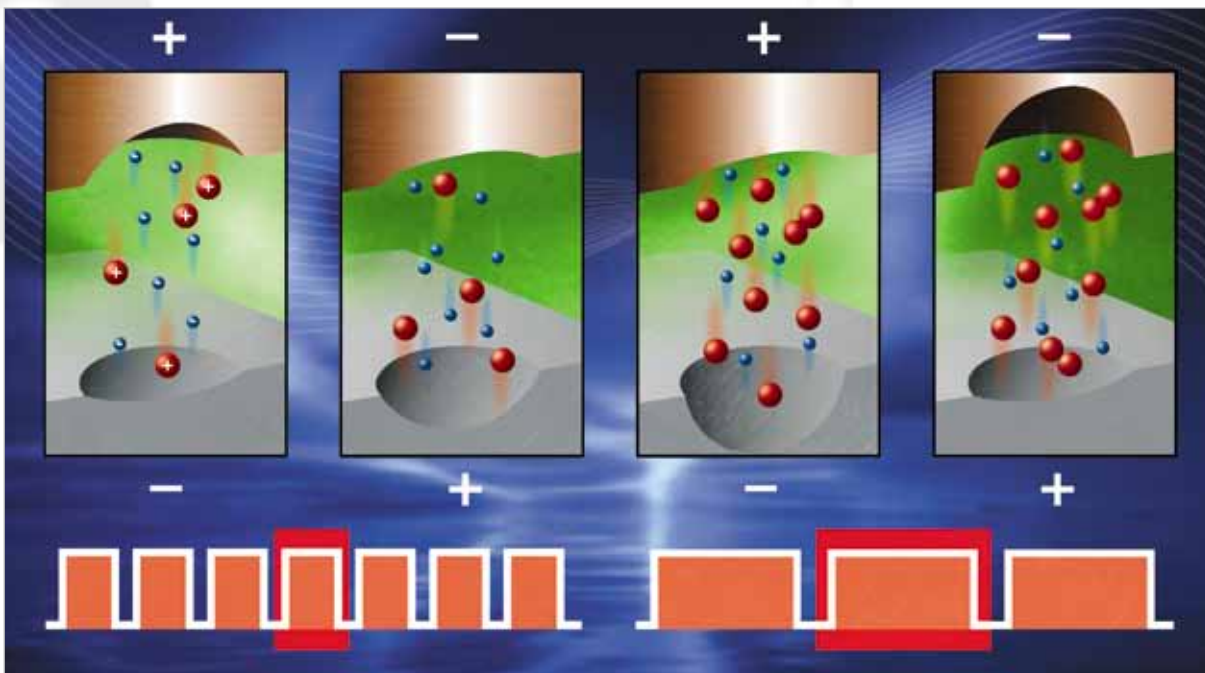


Bild 7





Ende der Entladung am Werkstück möglichst viel Wärmeenergie freigesetzt wird. Bei kurzen Impulsen wird deshalb die Werkzeugelektrode an Minus gelegt. Man spricht von negativer Polarität. Bei langen Impulsen hingegen an Plus, was einer positiven Polarität entspricht. Die Impulsdauer, bei der

die Polarität gewechselt wird, ist von einigen Faktoren abhängig, die sich hauptsächlich an physikalischen Kennwerten der Werkstück und Elektrodenmaterialien orientieren. Bei der Bearbeitung von Stahl mit Kupfer liegt die Grenzimpulsdauer bei circa 5 Mikrosekunden (Bild 7).

Die Bearbeitungszeit

Wie bei allen Bearbeitungsverfahren sind auch beim Erodieren unter anderem Zeit und Genauigkeit von Bedeutung. Die Bearbeitungszeit bestimmt sich aus dem am Werkstück abzutragenden Materialvolumen und der Abtragleistung, die mit VW bezeichnet wird. Man mißt sie in Kubikmillimeter pro Minute oder auch in Kubikinches pro Stunde. Die Genauigkeit der Bearbeitung ist neben anderen

Einflüssen vom Verschleiß an der Werkzeugelektrode abhängig. Er wird mit dem kleinen griechischen Theta (θ) und einem v bezeichnet. Als Verhältniszahl gibt dieser Wert in Prozent an, wieviel Materialvolumen an der Elektrode als Verschleiß gegenüber dem am Werkstück abgetragenen Volumen verlorengegangen ist (Bild 8).

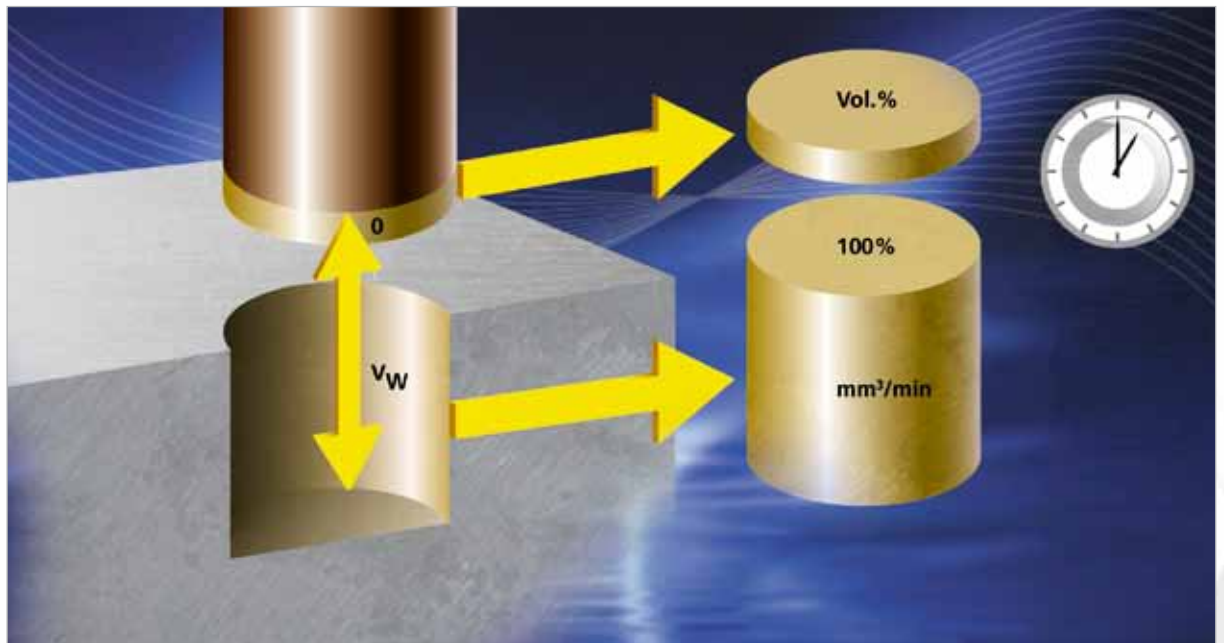


Bild 8

Die Oberflächenqualität

Ähnlich dem Bearbeiten mit konventionellen Methoden entsteht auch beim Erodieren keine völlig ebene, sondern eine leicht raue, muldige Oberfläche. Sie ist typisch für die Erosion, und ihre Beschaffenheit muß für Funktion oder Zusammenpassen einzelner Werkstücke bekannt sein. Deshalb wurden zum Messen ein Bezugssystem und Oberflächenmaße geschaffen, damit die Rauheit vorgeschrieben werden kann. Meß- und Kenngrößen hierfür sind häufig R_{max} und R_a . Mit R_{max} wird die

größte Rauhtiefe angegeben. In Frankreich und Deutschland bezeichnet man diesen Wert auch mit R_t , in den USA mit H_{max} . Zum wichtigen Maß wird R_{max} , wenn ein Teil zum Beispiel noch poliert oder geläppt werden soll. Mit R_a bezeichnet man den arithmetischen Mittenrauhwert, der immer dann von Bedeutung ist, wenn auf Passung gearbeitet wird. In England steht dafür CLA, in den USA AA (Bild 9).

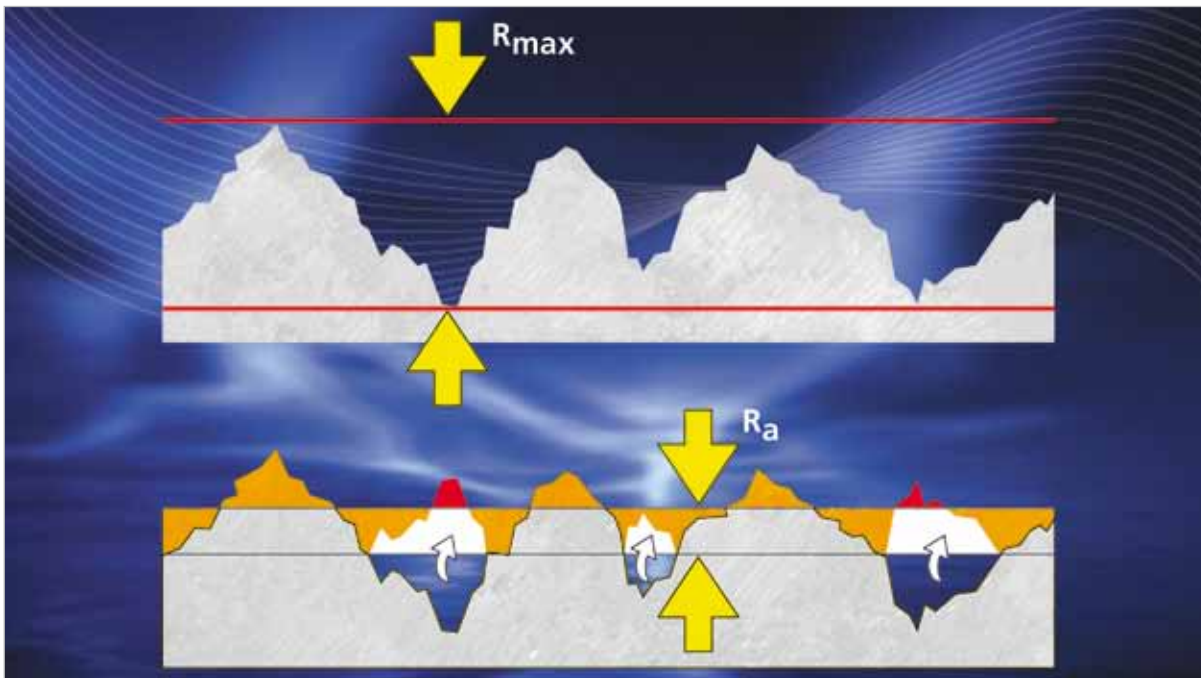


Bild 9

Genau wie beim spanabhebenden Bearbeiten können auch beim Erodieren feine oder grobe Oberflächen erzeugt werden. Wie groß der

Rauheits-Spielraum an erodierten Oberflächen sein kann, wird hier an zwei Beispielen veranschaulicht (Bild 10).



Bild 10





Unterschiedliche Funkspalte

Der Funkspalt - auch mit Gap (englisch: Spalt oder Lücke) bezeichnet - trennt Werkzeug- und Werkstückelektrode. Bereits bei geringer Arbeitstiefe muß zwischen einem vorn (frontal) und einem seitlich (lateral) gebildeten Spalt unterschieden

werden. Der frontale Spalt wird durch die Regelung bestimmt. Der laterale Spalt dagegen durch Dauer und Höhe der Entladeimpulse, durch die Materialpaarung, die Leerlaufspannung und andere vorgegebene Werte (Bild 11).

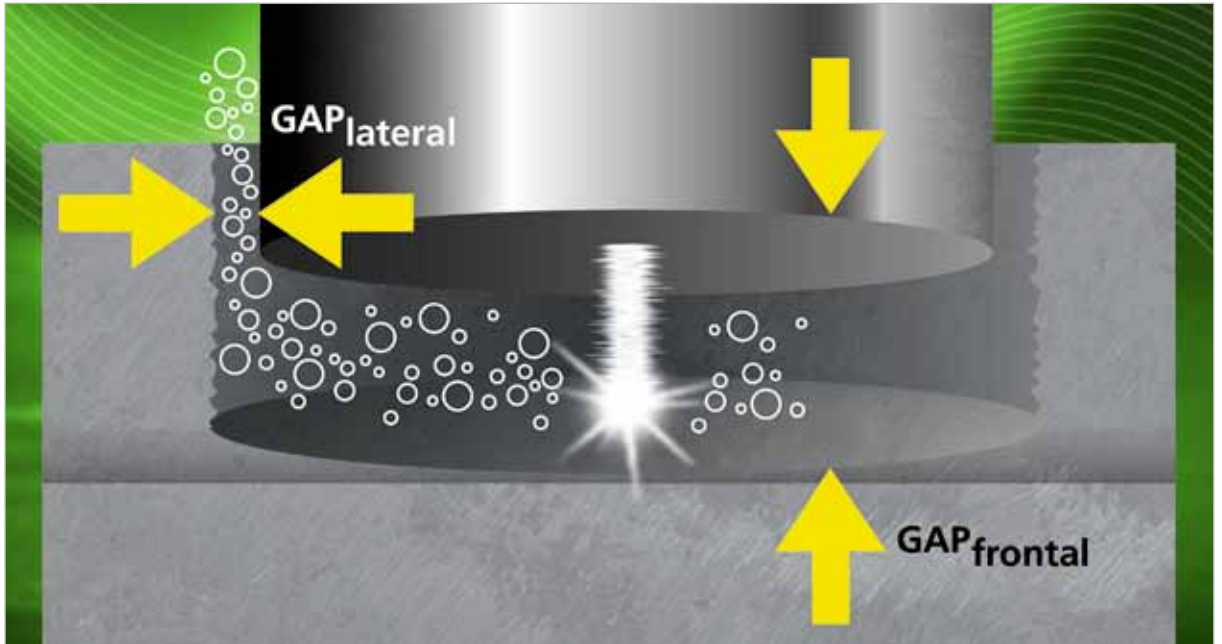


Bild 11

Der Generator

Wichtiger Bestandteil jeder Erodieranlage ist der Generator. Er formt den vom Netz kommenden Wechselstrom um und liefert rechteckförmige Spannungsimpulse. Dies bildlich, wenn Spannung und Zeit in einem Diagramm aufgetragen werden.

Durch eine Reihe von Schalteinrichtungen können die Größe der Rechtecke und der Abstand zwischen diesen jeder Arbeitsanforderung angepaßt werden (Bild 12).

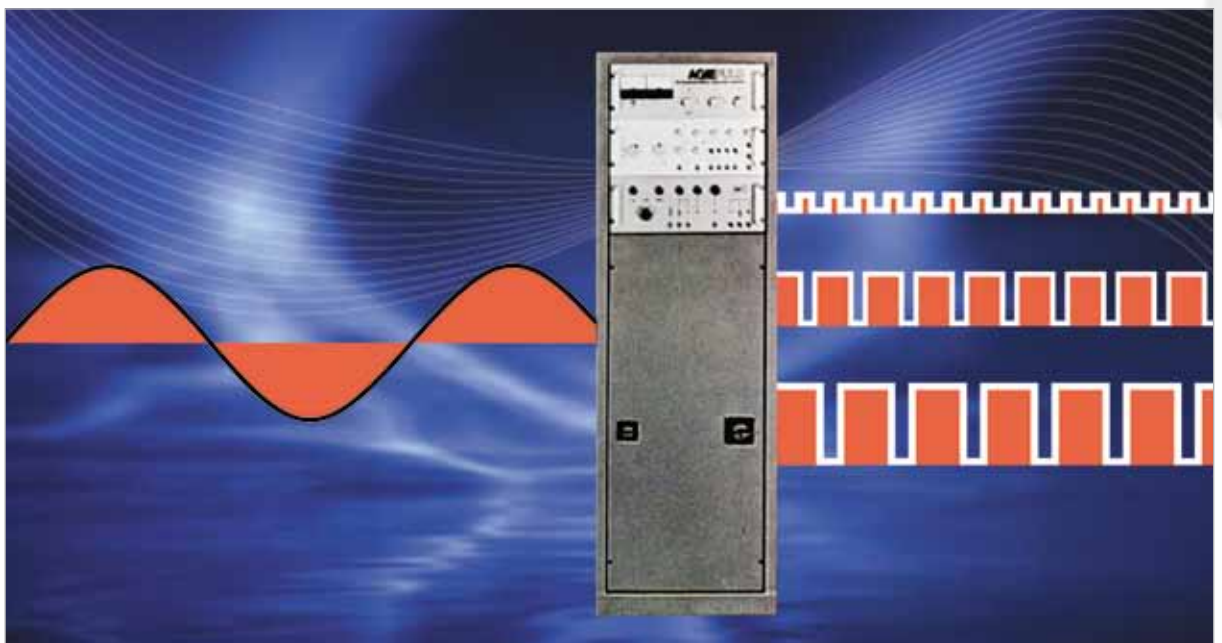


Bild 12

Die Folge der Rechtecke ist eine bildliche Darstellung der sich wiederholenden Schalter-Öffnungs- und Schließzeiten (Impulsdauer und Impulsabstand) bzw. von Entladedauer und Pause und der Spannung sowie dem Strom an der Funkenstrecke. An den meisten Generatoren können Entladestrom, Impulsdauer und Impulsabstand voneinander unabhängig eingestellt werden. Der Entladestrom entspricht dabei der Höhe des Rechtecks. Die Breite hingegen der Impulsdauer, die mit dem millionsten Teil einer Sekunde in Mikrosekunden gemessen

wird. Auch der Abstand zwischen den einzelnen Impulsen kann verändert werden, wodurch sich die Dauer der Pausen bestimmt, in denen der Stromfluß unterbrochen wird. Der Impulsabstand steht in einem Verhältnis zur Impulsdauer als Prozentzahl. Ist zum Beispiel der Abstand 25 Mikrosekunden bei einer Impulsdauer von 100 Mikrosekunden, so beträgt Tau 80 Prozent. Das heißt, daß der Impuls 80 Prozent, die Pause 20 Prozent eines Schaltspiels dauern (Bild 13).

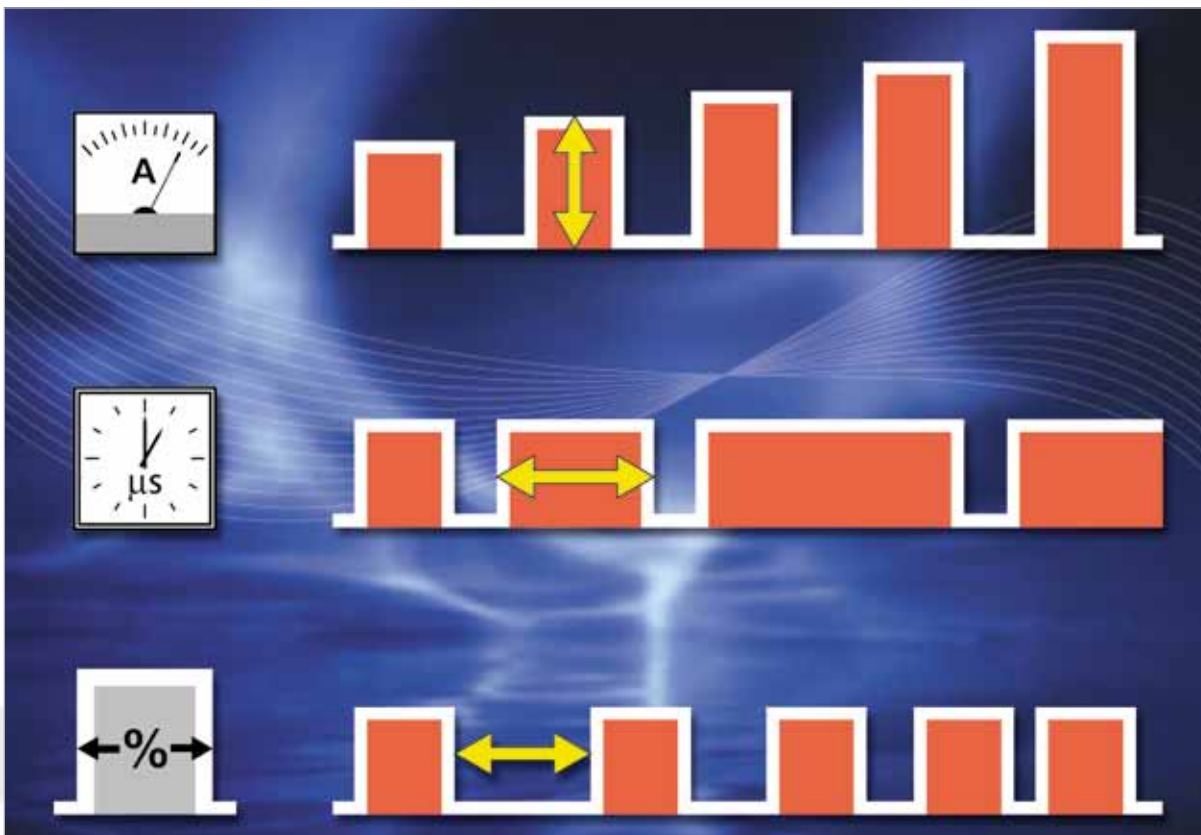


Bild 13

Der Elektrodenverschleiß

Erodieren mit geringem Strom ergibt eine kleine Abtragleistung. Umgekehrt viel Strom einen großen Abtrag. Dabei steigt aber auch der in Volumenprozent gemessene Verschleiß an der Werkzeugelektrode an, wenn mit Kupferelektroden

in Stahlwerkstücke erodiert wird. Graphitelektroden zeigen demgegenüber ein abweichendes Verhalten. Der Verschleiß nimmt bis zu einem bestimmten Stromwert ab und bleibt dann weitgehend konstant (Bild 14).



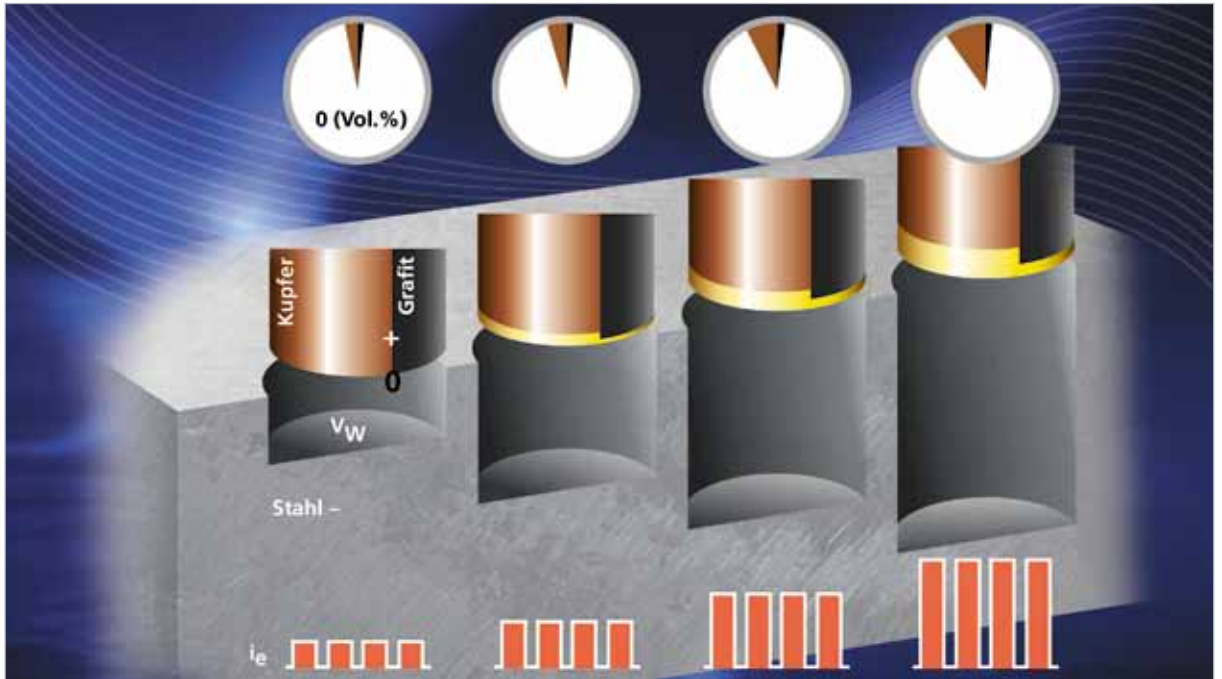


Bild 14

Erodieren mit kleiner Impulsdauer bedeutet zunehmenden Elektrodenverschleiß. Umgekehrt mit großer Impulsdauer kleinen Verschleiß. In der Praxis wird beim Schruppen mit Kupfer und Graphit in

Stahl eine Impulsdauer gewählt, die zwischen dem Abtragemaximum und dem Verschleißminimum liegt (Bild 15).

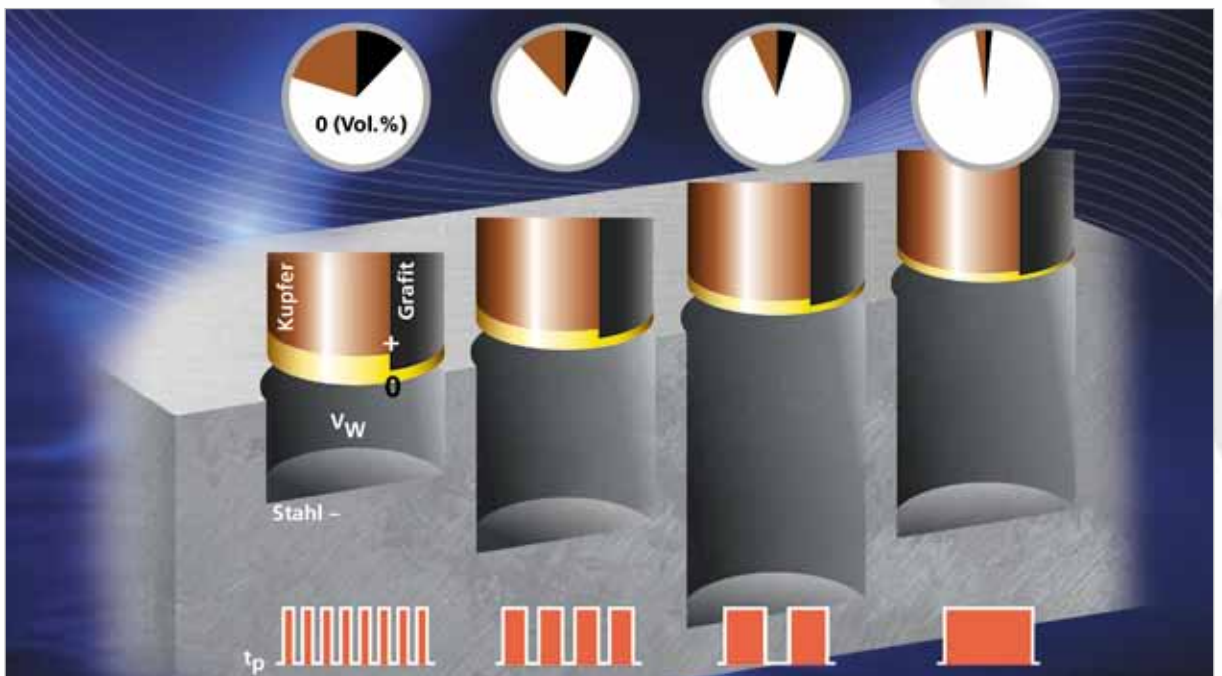


Bild 15

Die Pausendauer

Nicht zuletzt spielt auch die Pause zwischen zwei Entladungen eine wesentliche Rolle. Generell ist festzustellen, daß großer Abtrag und geringer

Verschleiß bei kleinen Pausen, d.h. großem Tastverhältnis zu erreichen sind. Nur darf ein Grenzwert nicht überschritten werden, weil dann eine Grenze

kommt, hinter der Prozeßstörungen auftreten, die geringeren Abtrag und höheren Verschleiß verursachen. Man bezeichnet diesen kritischen Wert auch als Grenzastverhältnis (Bild 16).

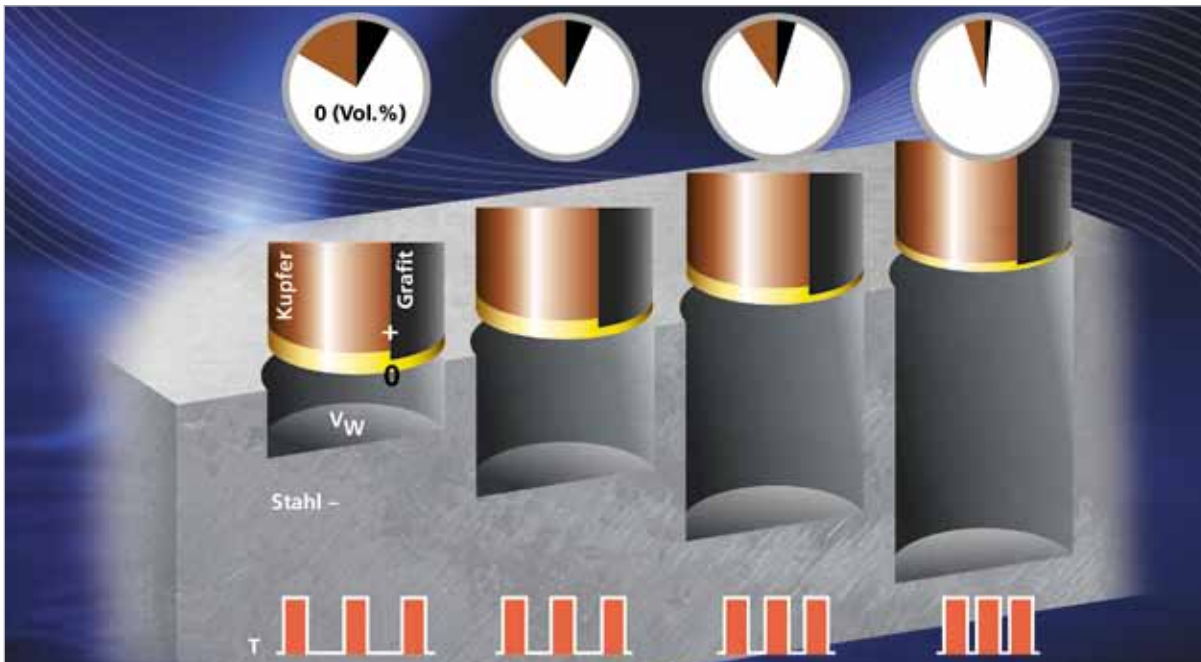


Bild 16

Der Stromimpuls

Daß die Entladeenergie, im Bild die Fläche eines Stromimpulses, auf die Rauheit der Oberfläche und die Größe des Funkenspaltes (Gap) einen entscheidenden Einfluß hat, zeigt diese Darstellung. Der Energieinhalt eines Impulses entspricht dabei der orangefarbenen Fläche. Sehr eindeutig sind die Zusammenhänge, daß bei kleiner Entladeenergie geringe Rauheit und umgekehrt großer Entladeenergie größere Rauheit entsteht.

Beim Vorschlichten und Schlichten muß zum Beispiel eine bestimmte Rauheit erreicht werden. Sie entspricht einer bestimmten Entladeenergie, die durch geeignete Einstellungen des Entladestroms (Impulshöhe) und der Entladedauer (Impulsbreite) gefunden wird. Aus der Zahl möglicher Einstellungen wird jedenfalls die zwischen dem Abtragmaximum und Verschleißminimum liegende gewählt (Bild 17).

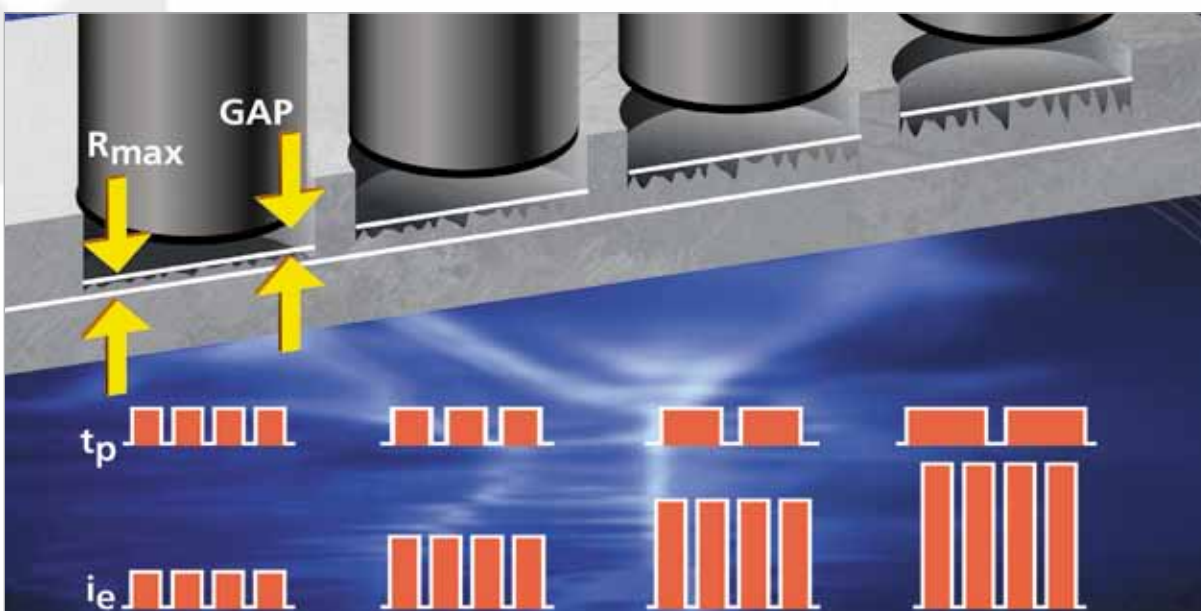


Bild 17

Die Oberflächenqualität im Verhältnis zur Entladeenergie

Die Bearbeitungsstufe von einer gröberen zu einer feineren Oberfläche ergibt sich durch erodieren mit reduzierter Entladeenergie. Die Rauheit wird geringer, der Elektrodenverschleiß etwas größer.

Im Bild ist gezeigt, wie groß in der Praxis der Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bearbeitungsstufen sein kann (Bild 18).

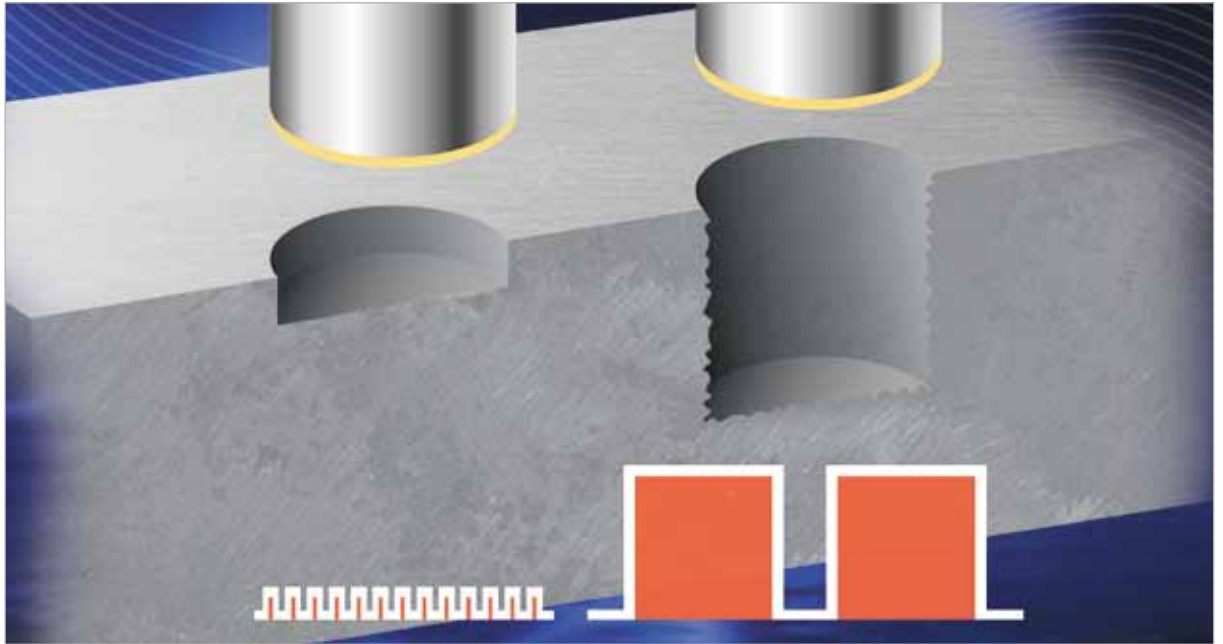


Bild 18

In der Werkstattpraxis soll beim Vorbearbeiten oder Schruppen eine Rauheit erreicht werden, die mit einer nachfolgenden Bearbeitungsstufe nur noch eingeebnet werden muß. Erfahrungen bestätigen, daß die Rauheit der Folgebearbeitung circa

einem Drittel bis einem Fünftel der Ausgangsrauheit entspricht. Bei diesem Vorgehen ergibt sich eine Gesamtbearbeitungsdauer mit sehr wirtschaftlichem Verhältnis von Zeitaufwand zu Genauigkeit (Bild 19).

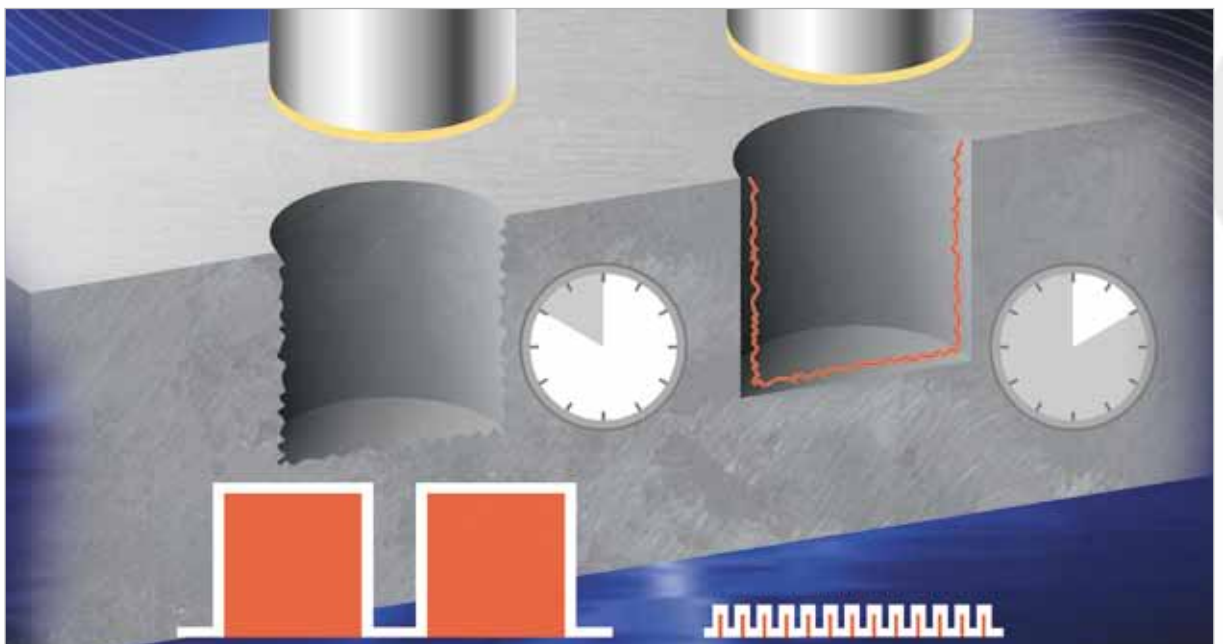


Bild 19

2. Das Dielektrikum bei der Funkenerosion

Das russische Forscherehepaar B. R. und N. J. Lazarenko entdeckte im Jahre 1943 die materialabtragende Wirkung von Kondensatorentladungen als Bearbeitungsverfahren für metallische Werkstoffe. Als Dielektrikum verwendeten sie zunächst normale Luft. Sehr schnell zeigte sich, daß Flüssigkeiten auf Mineralölbasis beachtliche Vorteile brachten. Die Durchschlagsfestigkeit war größer. Es konnten kleinere Funkenspalte gewählt werden,

die eine höhere Abbildungsgenauigkeit ermöglichen. Die Funkenfolge konnte gesteigert werden, und der Metallabtrag ließ sich mühelos abtransportieren. Ohne Flüssigkeiten auf Mineralölbasis wäre eine industrielle Anwendung der Funkenerosion nicht möglich geworden. Zunächst wurden petroleumhaltige Produkte und Produkte auf Testbenzinbasis, z.B. Kristallöl, eingesetzt.

	Petroleum	Testbenzin (Kristallöl 60)
Dichte bei 15° C	0.790	0.790
Viskosität bei 20° C	1.8 cSt.	2.0 cSt.
Flammpunkt °C	54 – 58	60
Siedebeginn °C	180	180
Siedeende °C	220	210
Verdunstungszahl (Äther = 1)	220-250	295
Aromatengehalt Vol. %	17	18

Ab 1960 begann die Mineralölindustrie spezielle Arbeitsflüssigkeiten für den Einsatz in Funkenerosionsanlagen zu entwickeln.



3. Die Aufgaben des Dielektrikums

Die Isolation:

Das Dielektrikum hat die wichtige Aufgabe, das Werkstück von der Elektrode zu isolieren. Der elektrische Durchschlag muß bei geringstmöglichem

Abstand erfolgen. Dadurch erhöht man die Abtragsleistung und die Abbildungsgenauigkeit.

Die Ionisation:

Das Dielektrikum muß schnellstmöglich die optimalen Bedingungen für den Aufbau eines elektrischen Feldes herstellen und dann eine Funkenbrücke ermöglichen. Bei Impulsende muß der Entladekanal schnell entionisiert werden, damit die nächste Entladung erfolgen kann.

Das Dielektrikum soll bei der Entladung den Entladekanal möglichst einschnüren, um eine hohe Energiedichte zu erreichen. Dies bedeutet gleichzeitig eine Erhöhung des Entladewirkungsgrades.

Die Kühlung:

Da der elektrische Funke mit ca. 8000-12000 Grad Celsius auf dem Werkstück auftrifft, muß das Dielektrikum Elektrode und Werkstück kühlen. Eine Überhitzung der Elektrode muß vermieden werden,

damit es nicht zu einem übermäßig hohen Verschleiß kommt. Die beim Funkenerosionsprozeß entstehenden Metaldämpfe müssen in der Flüssigkeit kondensieren können.

Der Abtransport der Abtragspartikel

Die entstandenen Abtragspartikel müssen vom Dielektrikum von der Erodierzone weggespült

werden, damit Prozeßstörungen vermieden werden.

4. Anforderungen an das Dielektrikum

Theoretisch können alle elektrisch isolierenden Flüssigkeiten als Dielektrikum eingesetzt werden. Aufgrund der nachstehend aufgeführten Anforderungen an solche Medien werden heute aber nur entionisiertes Wasser (für Feinstbearbeitung) und Kohlenwasserstoffverbindungen eingesetzt. Die Kohlenwasserstoffverbindungen können entweder durch Destillation und Raffination von Mineralölen oder aber synthetisch aus Gasen im Synthesofen unter Anwendung eines Katalysators hergestellt

werden. Die synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffprodukte zeichnen sich durch einen nicht zu überbietenden Reinheitsgrad aus. Außerdem können genau die Kohlenwasserstoffketten zusammengebaut werden, die ein optimales Abtrags- und Verschleißverhalten ergeben. Sie sind dabei den Mineralölprodukten, die aus bestimmten Mineralölfractionen durch Raffination hergestellt werden, weit überlegen.

5. Beurteilungskriterien für Dielektrika

Folgende Beurteilungskriterien gelten heute für dielektrische Arbeitsflüssigkeiten:

- a) Abtrags- und Verschleißverhalten
- b) Hygienische Aspekte:
 - Hautverträglichkeit
 - Toxizität (Giftigkeit)
 - Rauchentwicklung
 - Geruchsbildung
- c) Flammpunkt
- d) Dichte
- e) Verdunstungszahl
- f) Viskosität
- g) elektrische Leitfähigkeit
- h) Dielektrizitätskonstante
- i) Durchschlagspannung
- j) Schlammtragevermögen
- k) Filtrierbarkeit
- l) Verträglichkeit mit Anlagekomponenten (Maschinenbauteile, Lack, Dichtungsmaterial)
- m) Alterungsbeständigkeit
- n) Qualitätskonstanz
- o) Verfügbarkeit
- p) Preise

Allgemein ist zu sagen, daß es nicht schwierig ist, ein Produkt zu entwickeln, das in dem einen oder anderen Kriterium hervorragende Ergebnisse erzielt. Wichtig ist jedoch, daß das eingesetzte Produkt möglichst in allen Bereichen ein Optimum erzielt; z.B. lassen sich Produkte entwickeln, die ein höchstes

mechanisches Leistungsverhalten besitzen und hervorragende Abtrags- und Verschleißresultate erzielen, andererseits aus physiologischen Gründen nicht einsetzbar sind oder Maschinenbauteile auffressen.

Hygienische Kriterien:

Bereits heute, und sicher noch stärker in der Zukunft, gewinnen die hygienischen Aspekte bei der Verwendung von Kohlenwasserstoffverbindungen als Arbeitsflüssigkeiten mehr und mehr

an Bedeutung. Geruch, Rauchbildung und Hautverträglichkeit bestimmen weitgehend die Arbeitsbedingungen an der Erosionsanlage.

Hautverträglichkeit:

Grundsätzlich sind Produkte, die aufgrund ihres hohen Reinheitsgrades dermatologisch unbedenklich sind, anderen vorzuziehen. Diese Produkte sollen möglichst aus vollständig gesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen und einen möglichst geringen Aromatengehalt aufweisen. Ein

Aromatengehalt von unter 1 Volumenprozent ist wünschenswert. Bei Kohlenwasserstoffen der Normalparaffinreihe von C12 bis C14 tritt gern das Phänomen der Hautreizungen auf. Normalparaffine in diesem Bereich

sollten nicht eingesetzt werden. Wenn möglich, sollten nur Produkte verwendet werden, deren

dermatologische Unbedenklichkeit durch neutrale medizinische Gutachten nachgewiesen werden.

Toxizität (Giftigkeit):

Für dielektrische Arbeitsflüssigkeiten gibt es in bezug auf Toxizität, oder besser der organophysiologischen Eigenschaften, noch keine gesetzlichen Bestimmungen. Ein geringer Aromatengehalt eines ungebrauchten Produktes ist jedoch letztlich nicht allein maßgebend für dessen Qualität. Wesentlich

wichtiger ist die genaue Kenntnis der Anfälligkeit zur Bildung von Aromaten durch den Erosionsprozeß (Alterungsstabilität). Selbst nach längerem Gebrauch des Dielektrikums dürfen sich keine polyzyklischen Aromaten, z.B. Benzpyrene, bilden, die heute zu den Krebserregern gezählt werden.

Rauchbildung:

Die Rauchbildung beim Erodieren wird durch die verschieden großen Abtragsraten stark beeinflusst. Dünneflüssige Dielektrika besitzen in der Regel eine geringere Rauchbildung als dickflüssige. Je höher die Erodierstelle vom Dielektrikum überspült wird, desto geringer ist auch die Rauchbildung. (Nach

der VDI-Richtlinie 3402 ist eine Mindestüberdeckung von 40 mm vorgeschrieben.) Grundsätzlich sollte an einer Erosionsanlage ein Rauchgasabzug angebracht sein, wenn die Anlage nicht ausschließlich im Feinbereich eingesetzt wird.

Geruch:

Das ungebrauchte Dielektrikum sollte nicht riechend sein und auch bei Erwärmung keinen Geruch verursachen. Nach längerem Arbeiten mit dem Dielektrikum ist ein leichter Ozongeruch, der auf die elek-

trischen Entladungen zurückzuführen ist, üblich. Oft deutet auch ein saurer, stechender Geruch darauf hin, daß das Dielektrikum ausgetauscht werden sollte.

Flammpunkt (DIN 51755):

Als Flammpunkt gilt die niedrigste Temperatur, bei der sich Dämpfe des Dielektrikums in solcher Menge entwickeln, daß in einer genormten Apparatur ein durch Fremdzündung entflammbares

Dampf-Luftgemisch entsteht. Je höher der Flammpunkt, desto sicherer ist der Umgang mit dem Dielektrikum. Nach dem Flammpunkt erfolgt auch die Einteilung der Dielektrika in Gefahrenklassen.

Gefahrenklasse:	A I	bis 21° C,	z. B. Benzin
	A II	21 – 55° C,	z. B. Petroleum, Testbenzin
	A III	55 – 100° C,	z. B. Diesel, Heizöl-EL

Aufgrund der VDI-Richtlinie 3402 sind Stoffe mit einem Flammpunkt von unter 21° C für den Betrieb in Funkenerosionsanlagen nicht zugelassen. Zu beachten ist auch, daß Petroleum und Testbenzin meist noch unter die Gefahrenklasse A II fallen und daher besondere Sicherheitsvorschriften erfüllt sein müssen. Der überwiegende Teil der z. Z. eingesetzten Dielektrika fällt unter die Gefahrenklasse A III. Dielektrika mit einem Flammpunkt von über 100° C fallen im Sinne der Verordnung für brennbare Flüssigkeiten nicht mehr unter brennbare

Stoffe. Für sie sind daher keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

Zur Bestimmung der Flammpunkte flüssiger Stoffe im Sinne der Arbeitsstoffverordnung muß der Flammpunkt für Temperaturen bis 50° C mit dem Gerät nach Abel-Pensky und für Temperaturen von mehr als 50° C mit dem Gerät nach Pensky-Martens (Flp. PM) gemessen werden. Eine Messung des Flammpunktes durch Apparate mit offenen Tiegeln (o.c. = open cup), z.B. Gerät nach Cleveland, ist nicht zulässig.



Dichte (DIN 51757):

Der Einfluß der Dichte des Dielektrikums ist im Schlichtbereich ausgeprägter als im Schrubbereich, unabhängig von der Viskosität. „Schwere“ Produkte erweisen sich als abtragsintensiver. Die Dichte eines Stoffes ist der Quotient aus seiner Masse und aus seinem Volumen (die übliche Beziehungstemperatur beträgt 15° C). Heute übliche Dielektrika besitzen eine Dichte von 0,750 – 0,820 g/ml. Je kürzer die Kohlenwasserstoffketten sind, desto geringer ist in der Regel das spezifische Gewicht. Änderungen des spezifischen Gewichtes zwischen gebrauchtem und ungebrauchtem

Dielektrikum zeigen an, ob fremde Bestandteile, z.B. Hydrauliköl, in das Dielektrikum gelangt sind. Bei einem Dielektrikum, das durch Mischung unterschiedlicher Fraktionen hergestellt wurde, kann man bei einem Anstieg der Dichte erkennen, in welchem Umfang die leichtflüchtigen Bestandteile verdampft sind.

Die Überprüfung der Dichte kann sehr leicht mit einem Aräometer (Spindel) erfolgen. Es handelt sich dabei um einen Schwimmkörper aus Glas mit einer Skala für Dichte (0,001 Einheiten), der gleichzeitig ein Thermometer enthält.

Verdunstungszahl (DIN 53170):

Die Verdunstungszahl (VD) ist der Quotient aus der Verdunstungszeit für das zu prüfende Dielektrikum und für Äther. Dielektrika für den Feinschlichtbereich sollten eine Verdunstungszahl von 500 –

1000 aufweisen. Stoffe, die schneller verdunsten, z.B. Petroleum VD 260, sind aus wirtschaftlichen Überlegungen als Dielektrikum nicht geeignet.

Viskosität (Zähigkeit) (DIN 51562):

Die Viskosität ist die Eigenschaft einer Flüssigkeit, der gegenseitigen Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand entgegenzusetzen. Die physikalische Maßeinheit der dynamischen Viskosität ist die Pascalsekunde. Ein mPa.s entspricht dem Centipoise (cP). Das Verhältnis der dynamischen Viskosität zur Dichte wird als kinematische Viskosität bezeichnet. Die Einheit ist das Quadratmeter pro Sekunde (m^2/s). Dem Centistoke (cSt) entspricht $1\text{ mm}^2/s$. Bei dünnflüssigen Dielektrika wird die Viskosität in der Regel bei 20° C gemessen. Für den Einsatz im Feinschlichtbereich sind Dielektrika von 2 bis 3,5 cSt bei 20° C gut geeignet. Für Schrubarbeiten eignen sich Dielektrika von 4 bis 6,5 cSt bei 20° C. Dielektrika,

die durch Mischung von zwei verschiedenen viskosen Fraktionen hergestellt sind, haben den Nachteil daß die leichtflüchtigen, niedrigviskosen Anteile schneller verdampfen und nach längerer Gebrauchsdauer ein Dielektrikum übrigbleibt, das höher viskos ist als das ursprüngliche Einsatzprodukt und nur noch Schrubarbeiten zuläßt. Die Oberflächenrauheit der bearbeiteten Werkstücke ist ebenfalls von der Viskosität abhängig. So ermöglichen dünnflüssige Dielektrika einen kleinen Funkenspalt und damit eine kleine Rauheit. Beim Einsatz von dickflüssigen Dielektrika benötigt man, um Spülschwierigkeiten zu vermeiden, einen großen Funkenspalt. Daher ist auch die Rauheit der bearbeiteten Werkstücke größer (siehe Bild 1).

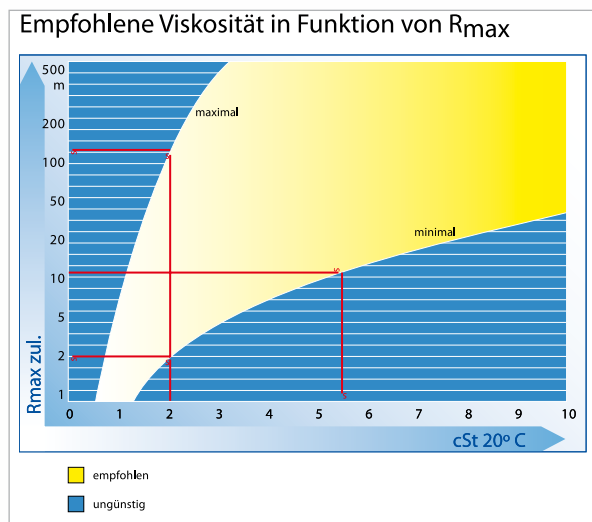


Bild 1

Elektrische Leitfähigkeit:

Die elektrische Leitfähigkeit ist gleich dem reziproken Wert des elektrischen Widerstandes. Die Einheit ist das Siemens. Die Messung erfolgt mit einer Leitfähigkeits-Wechselstrom-Meßbrücke nach dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke bei

Frequenzen von 50 oder 3000 Hertz. Dielektrische Arbeitsflüssigkeiten auf Kohlenwasserstoffbasis besitzen in ungebrauchter Form einen Leitwert von ca. $2 \times 10^{-14} \text{ Ohm} \times \text{cm}^{-1}$.

Dielektrizitätskonstante (DIN 53483):

Die relative Dielektrizitätskonstante (DK) eines Dielektrikums gibt an, um welchen Faktor die Kapazität eines Kondensators bei der Einbringung des Dielektrikums gegenüber der Vakuumkapazität des Kondensators erhöht wird. Die Messung erfolgt mit Hilfe eines (Dielektrizitätskonstante)-DK-Meters. Durch Einsetzen in einen hochfrequenten

Schwingkreis wird die Kapazität des mit dem Dielektrikum gefüllten und des leeren Kondensators bestimmt. Der Quotient aus den beiden Werten ist die relative Dielektrizitätskonstante. Ein für die Funkerosion geeignetes Dielektrikum sollte eine Dielektrizitätskonstante von 2 – 2,5 aufweisen.



Durchschlagsspannung (DIN 53481/VDE 0303):

Die Durchschlagsspannung ist die Spannung, bei der eine Dielektrikumsschicht von 2,5 mm Dicke, die sich zwischen zwei Kugelkalottenelektroden befindet, durchschlagen wird. Gute Dielektrika sollten

im Neuzustand eine Durchschlagsspannung von 50 – 60 KV erreichen. Dabei ist zu beachten, daß geringste Feuchtigkeitsbeimischungen, z.B. Kondenswasser, diesen Wert nachteilig beeinflussen.

Schlammtragevermögen:

Die beim Erodieren entstehenden Abtragspartikel von Werkstück und Elektrode sowie die durch den elektrischen Funken entstehenden Kohlepartikel stellen Verunreinigungen des Arbeitsmediums dar. Das Dielektrikum muß diese Teilchen aus der Arbeitszone transportieren. Dazu ist ein ausreichendes Schlammtragevermögen erforderlich. Die Schlammtragefähigkeit darf jedoch nicht zu groß sein, da sich sonst beim Filtrieren die Verunrei-

nungen nicht vom Dielektrikum trennen lassen. Zu starke Verunreinigungen bringen Kurzschlußreaktionen. Andererseits arbeitet ein Dielektrikum erst optimal, wenn geringe Mikropartikel, die die Ionisation begünstigen, im Dielektrikum enthalten sind. Diese Mikropartikel können auch zur Verbesserung des Anfangserodierverhaltens durch Additive künstlich in das Dielektrikum gebracht werden.

Verträglichkeit mit Anlagenkomponenten:

Die dielektrischen Arbeitsflüssigkeiten sollen sich gegenüber Maschinenbauteilen, z.B. Dichtungsmaterialien, Schläuchen, Behälterlackierungen, die

mit ihnen in Berührung kommen, neutral verhalten. Ein Aufquellen, Schrumpfen oder Auflösen dieser Materialien darf nicht erfolgen.

Alterungsbeständigkeit:

Für die Wirtschaftlichkeit von Dielektrika ist die Alterungsbeständigkeit von großer Bedeutung. Je länger ein Produkt eingesetzt werden kann, desto günstiger ist das Preis/Leistungsverhältnis. Bei normalem Erodierbetrieb sollte das Dielektrikum bei Filtration mit Papierfiltern ca. ein bis zwei Jahre eingesetzt werden können. Beim Gebrauch in Anschwemmfilteranlagen sind heute bereits Einsatzzeiten von fast 20 Jahren bekannt, ohne daß

das Dielektrikum ausgetauscht wurde. In diesen Fällen wurde jeweils nur nach Bedarf frische Ware nachgefüllt. Neben der Bestimmung der Alterung über die Infrarotspektalanalyse hat sich bis heute die Methode der Bestimmung der Neutralisationszahl (NZ/DIN 52558) als sehr zuverlässig erwiesen. Dielektrika mit einer Neutralisationszahl von über 1 mg/KOH/g sollen möglichst bald ausgetauscht werden.



Qualität - Verfügbarkeit:

Die Qualität der Dielektrika muß von den Herstellern über einen ausreichenden Zeitraum garantiert werden können. Es sollte auch sichergestellt werden, daß die Qualität eines bestimmten Dielektrikums in all den Ländern gleich ist, in denen es

unter derselben Bezeichnung angeboten wird. Dielektrische Arbeitsflüssigkeiten sollten mengenmäßig, geographisch und zeitlich möglichst schnell entsprechend den Erfordernissen geliefert werden können.

Preise:

Bei einem Preisvergleich müssen alle diese Beurteilungskriterien berücksichtigt werden, denn oft ist

das zunächst billigste Dielektrikum beim Langzeiteinsatz das Teuerste.

6. Spülen bei funkenerosiver Bearbeitung

Jeder erfahrene Erodierer weiß, daß der Spülvorgang bei der funkenerosiven Metallbearbeitung von größter Bedeutung ist. Das Dielektrikum muß die beim Funkenerosionsprozeß entstehenden Abtragspartikelchen aus dem Arbeitsspalt spülen. Ist die Spülung unzulänglich, so können die Abtragspartikel eine Brücke zwischen der Elektrode und dem Werkstück bilden. Dies führt zu Kurzschlüssen, d.h. Lichtbögen, die in das Werkstück und die Elektrode große Krater hineinbrennen

können. Moderne Funkenerosionsanlagen besitzen daher eine adaptive Stromüberwachung, die in solchen Fällen zunächst die Pausenzeit zwischen den Impulsen verlängert und den Arbeitsstrom reduziert oder völlig abschaltet. Je dünnflüssiger ein Dielektrikum ist und je geringer seine Oberflächenspannung ist, desto besser kann es die Spülaufgabe bewältigen.

Offene Spülung:

Die offene Spülung ist die gebräuchlichste Spülmethode und wird dann eingesetzt, wenn es nicht möglich ist, Spülbohrungen zusätzlich anzubringen.

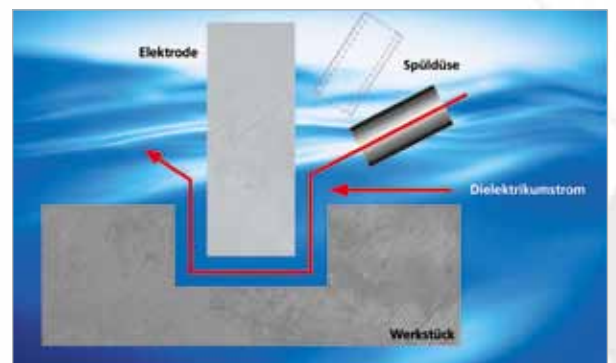


Bild 1: Offene Spülung

Druckspülung:

Neben der offenen Spülung ist die Druckspülung die wichtigste Methode. Das Dielektrikum wird entweder von oben über eine Spülbohrung durch die Elektrode oder von unten durch das Werkstück gedrückt. Entscheidend für die Wirksamkeit der Spülung ist die Durchflußmenge und weniger der Spüldruck.

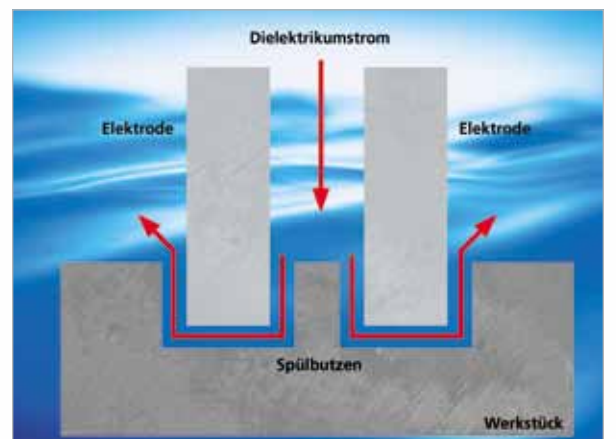
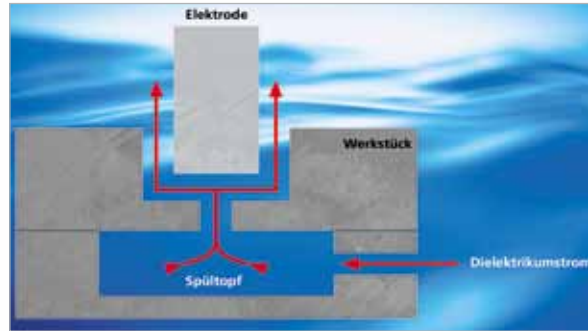


Bild 2: Druckspülung durch die Elektrode

Die Spülart muß bei der Untermaßberechnung der Elektrode berücksichtigt werden, da bei der Druckspülung im lateralen Spalt durch die aufsteigenden Partikel ebenfalls eine ständige Erosion stattfindet. Dies führt zu geringfügigen Abbildungsfehlern.

Bild 3:
Druckspülung
durch das
Werkstück



Saugspülung:

Bei der Saugspülung werden die Abtragspartikel vom Arbeitsspalt abgesaugt. Diese Spülmethode empfiehlt sich vor allem dort, wo eine feine Endbearbeitung und parallele Wände im Werkstück erreicht werden müssen.

Bei dieser Methode muß bei Arbeiten mit kleinen Spaltweiten und geringen Durchflußmengen genau darauf geachtet werden, daß genügend Dielektrikum in den Arbeitsspalt gelangt, damit der Funkenerosionsprozeß nicht instabil wird.

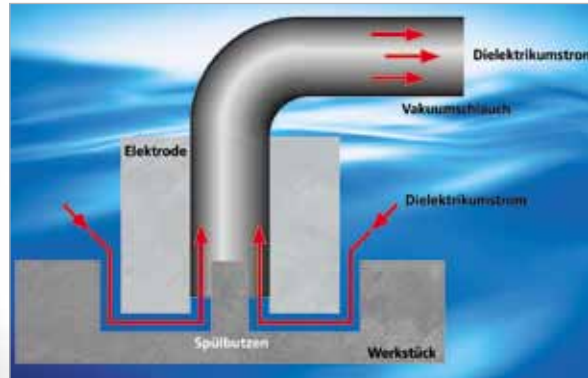


Bild 4: Saugspülung durch die Elektrode

Kombinierte Spülung:

Bei besonders komplizierten Bearbeitungen kann es zweckmäßig sein, bei den Spülarten (Saugspülung und Druckspülung) miteinander zu kombinieren.

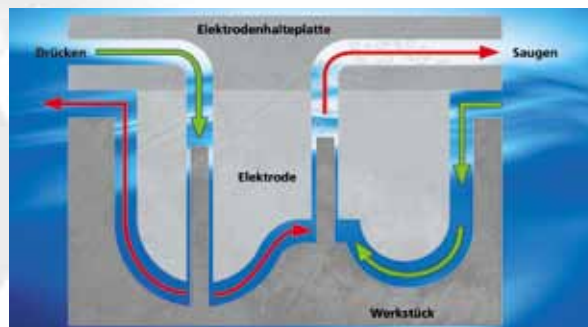


Bild 5: Kombinierte Spülung

Intervallspülung:

Bei der Intervallspülung wird der Erodiervorgang nach einer bestimmten Zeit unterbrochen und die Elektrode zurückgefahren. Dadurch wird die Aus-spülung der Abtragspartikel verbessert. Die Rück-zugs- bzw. Zustellbewegung der Elektrode hat

einen zusätzlichen Saug- bzw. Pumpeffekt, der die Spülvirkung begünstigt. Diese Methode eignet sich vor allem bei tiefen Einsenkungen, dünnen Elektroden oder bei Schlichtarbeiten.

7. Filtration des Dielektrikums

Damit das Dielektrikum seine Spülaufgaben optimal erfüllen kann, muß es von den Abtragspartikeln (Werkstückabtrag, Elektrodenabtrag) und von vercrackten Dielektrikumteilchen gereinigt werden. Außerdem muß das durch den Funkenerosionsprozeß erwärmte Dielektrikum wieder auf normale Arbeitstemperatur 20 – 30° C gekühlt

werden. Bei zu hoher Temperatur des Dielektrikums ergeben sich sonst Ungenauigkeiten im Bearbeitungsprozeß und hohe Verdampfungsverluste für das Dielektrikum. Aus diesem Grunde besitzt jede Funkenerosionsmaschine eine Filteranlage, die folgende Funktionen erfüllen muß:

- Vorratsbehälter für das Dielektrikum
- Reinigen des aus dem Arbeitsbehälter abfließenden verschmutzten Dielektrikums
- Bereitstellen der notwendigen Reinflüssigkeitsmengen und Drücke für das Schnellbefüllen

- sowie für die Druck- und Saugspülung
- Kühlen des Dielektrikums (Luftkühlung, Wasserkühlung, Kühlaggregat)
- Aufbereiten der Rückspülflüssigkeit und des Filtrückstandes.

Patronenfilteranlage (siehe Bild 1)

In der Praxis haben sich heute für die Filtration des Dielektrikums bei kleineren Funkenerosionsanlagen bis ca. 450 mm²/min Abtragsleistung Patronenfilteranlagen gut bewährt. Die Patronenfilteranlagen sind einfache und von den Anschaffungskosten her gesehen preisgünstige Geräte, die im wesentlichen aus einem Vorratsbehälter, Filterpumpe, Maschinenpumpe, Patronenfilter, Kühler sowie der notwendigen Rohrleitungen bestehen. Die Bedienung der Anlage erfolgt manuell. Das Filterelement selbst ist in einem druckstabilen Gehäuse untergebracht und besteht aus einem sternförmig gefalteten Papierbalg, der um ein Mittelrohr angeordnet ist. Die Filterpatrone ist als Wegwerfelement ausgebildet. Ist die maximale Schmutzaufnahmekapazität der Patrone erreicht, so muß sie durch eine neue Filterpatrone ersetzt werden. Je nach Papiereinsätzen liegt die Filterfeinheit solcher Anlagen zwischen 1 und 5 µm. Dielektrikum IME

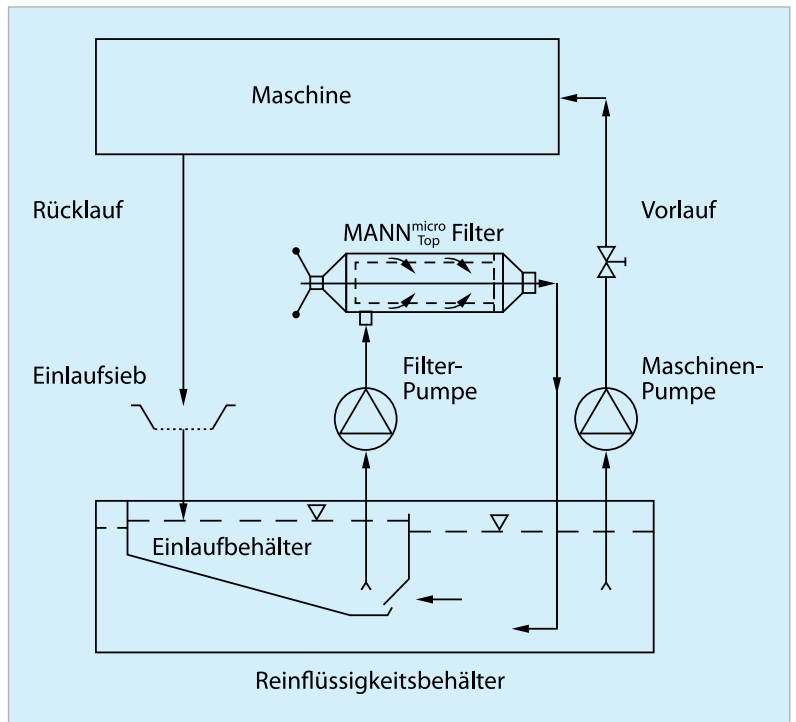


Bild 1

kann bei normalem Betrieb in Papierfilteranlagen ca. 1–2 Jahre eingesetzt werden.

1–2 Jahre eingesetzt werden.

Anschwemmfilteranlagen (siehe Bild 2)

Bei großen Funkenerosionsanlagen empfiehlt sich der Anbau von sogenannten Anschwemmfilteranlagen. In diesen Anlagen wird vor Beginn der Filtration auf den Filterelementen zunächst eine gleichmäßige Filterhilfsschicht aufgeschwemmt. Diese Filterhilfsschicht kann aus Kieselguren, Rixid oder Zellulosen bestehen. Nach Beendigung des Anschwemmvorganges wird die Anlage wahlweise manuell oder automatisch auf Filterkreislauf-betrieb gebracht. Bei Erreichen eines max. Differenzdruckes wird die Anschwemmfilteranlage zurückgespült und der gesamte auf den Filterelementen haftende Schmutz samt Filterhilfsmittel über ein Schlammablaßventil in den Schlammbehälter ausgestossen. Nach Beendigung des Rückspülvorganges kann die Anschwemmfilteranlage erneut angeschwemmt und auf Filterkreislauf gebracht werden. Die Filterfläche der Anlage soll so groß bemessen sein, daß sie die innerhalb einer Arbeitsschicht anfallende Schmutzmenge aufnehmen kann,

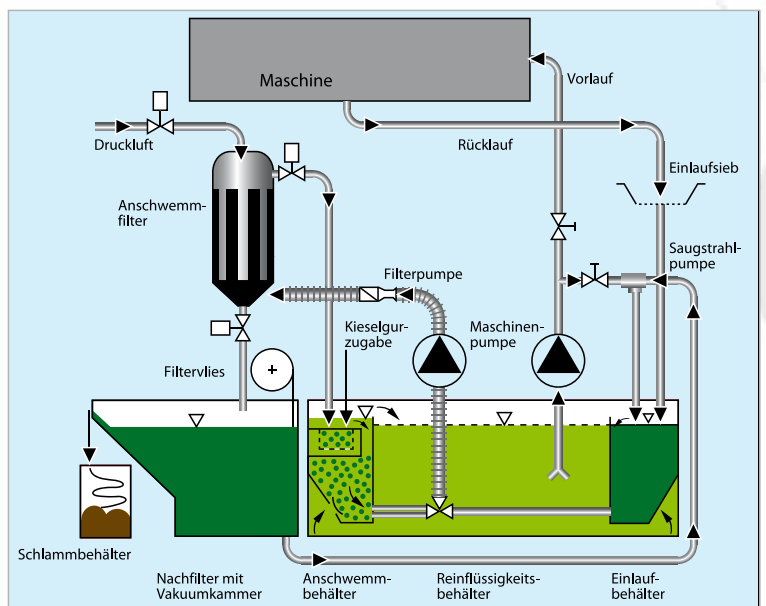


Bild 2

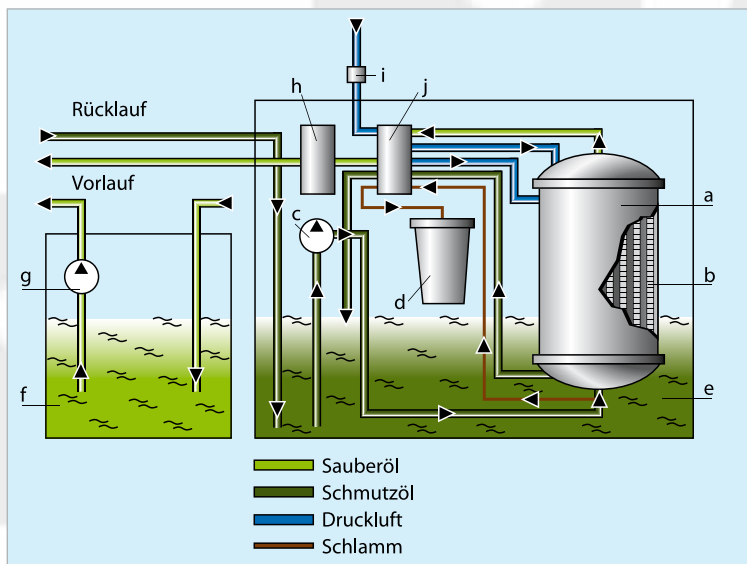
bevor zurückgespült werden muß. Mit Anschwemmfilteranlagen lassen sich Filterfeinheiten bis $1\ \mu\text{m}$ erzielen. Im Durchschnitt werden beim Anschwemmvorgang $1\ \text{kg}$ Kieselgur bzw. $0,5\ \text{kg}$ Rixid für $1\ \text{m}^2$ Filterfläche benötigt. Die Restfeuchte eines aus einer Anschwemmanlage ausgestoßenen Trockenschlammkuchens liegt je nach Dielektrikum bei ca. 10–30 Gewichtsprozent. Die Standzeit des Dielektrikums in Anschwemmmanlagen ist sehr hoch, da durch Kieselgur bzw. Rixid nicht nur ein mechanischer Reinigungsprozeß erfolgt, sondern auch bis

zu einem gewissen Grad saure Bestandteile des Dielektrikums herausgefiltert werden. In Anschwemmfilteranlagen ist es auch möglich, Bleicherde als Filterhilfsmittel einzusetzen, um das Dielektrikum noch besser zu säubern. Es liegen heute Erfahrungswerte über Anschwemmmanlagen vor, bei denen vor ca. 20 Jahren Dielektrikum IME eingefüllt wurde, das heute noch voll funktionsfähig ist. Lediglich Austragund Verdampfungsverluste mußten durch Nachfüllen ergänzt werden.

Das Kantenspalt-Filtersystem (siehe Bild 3)

Dieses Filtersystem ist durch die Verwendung des Spaltfilterprinzips in der Lage, ohne den Zusatz von Filterhilfsmitteln Filtrierergebnisse von $1\ \mu\text{m}$ Filterfeinheit zu erzielen. In einem Druckbehälter sind Filterstäbe installiert, auf denen mehrere tausend feinste Spezialpapierscheiben montiert sind. Das verschmutzte Dielektrikum wird in den Druckbehälter gepumpt und von außen nach innen durch die Filterstäbe gepreßt. Da dieses System ohne Filterhilfsmittel arbeitet, entfällt der Vorgang des Anschwemmens. Die Spalten zwischen den Papierscheiben sind so eng, daß sich Verunreinigungen, die größer als $1\ \mu\text{m}$ sind, auf der Oberfläche der Filterstäbe ablagern. Sind die Filterstäbe

verschmutzt, so erfolgt ein Rückspülungsprozeß, bei dem bereits filtrierte Dielektrikum in umgekehrter Fließrichtung durch die Filterstäbe gedrückt wird. Der auf der Oberfläche der Filterstäbe befindliche Schmutzbelag wird abgesprengt und kann aus einem Schlammkasten entnommen werden. Im Vergleich zur Anschwemmanlage ist die Schlammbildung gering, da kein Filterhilfsmittel vorhanden ist. Die Gebrauchsdauer der Filterstäbe beträgt im Durchschnitt ca. 8000 Betriebsstunden. Beim Kantenspalt-Filtersystem ist darauf zu achten, daß die Viskosität des Dielektrikums $4,0\ \text{cSt}$ bei $20^\circ\ \text{C}$ nicht überschreitet.



Schemadarstellung eines nach dem Spaltfilterprinzip arbeitenden Filtersystems für Dielektrikum

- a) Filtergehäuse
- b) Filterstäbe
- c) Filterpumpe
- d) Schlammbehälter
- e) Schmutzöltank
- f) Sauberöltank
- g) Versorgungspumpe
- h) Ölluftkühler
- i) Wasserabscheider und Reduzierventil für Druckluft
- j) Zentralventil mit Einhebelbedienung

Bild 3

8. Beeinflussung des Werkstückes durch das funkenerosive Bearbeitungsverfahren

Das Funkenerosionsverfahren hat einen ganz anderen Einfluß auf das bearbeitete Material als herkömmliche Bearbeitungsverfahren. Die auf das Werkstück auftreffenden elektrischen Funken erhitzen die äußerste Schicht des Stahls so hoch (ca. 10000° C), daß der Werkstoff verdampft. Im Dielektrikum kondensieren diese Metaldämpfe meist zu Hohlkugeln, die an einer Seite offen sind und eine scharfe Schnittkante aufweisen. Im Werkstück selbst entstehen kraterförmige Mulden. Besteht die Gefahr, daß der bearbeitete Werkstoff an der Oberfläche so ungünstig beeinflußt wird, daß die Brauchbarkeit eines Werkzeuges darunter leidet? Wie sieht es mit der Standzeit, Verschleißfestigkeit oder Polierbarkeit aus? Die Abbildungen 1, 2, 3 zeigen die Oberflächenrauheit, den Elektrodenverschleiß und die Abtragsleistung in Abhängigkeit von der Brennzeit.

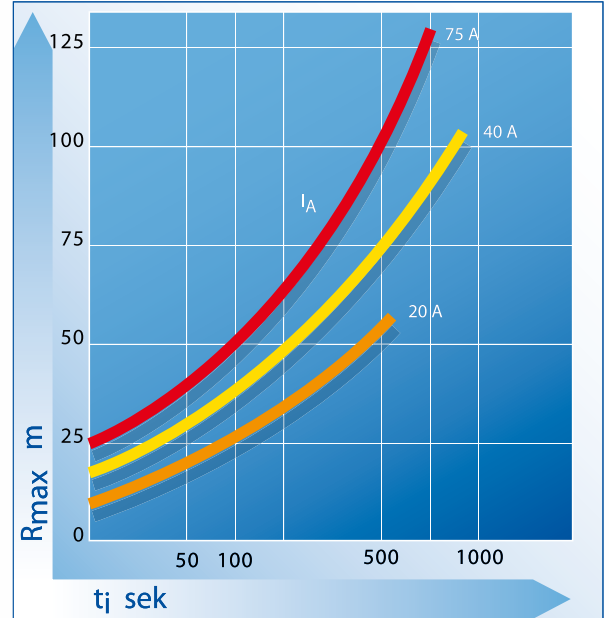


Abb. 1. Abhängigkeit der Oberflächenrauheit von der Brennzeit.

Elektrodenverschleiß Bezogener Wert

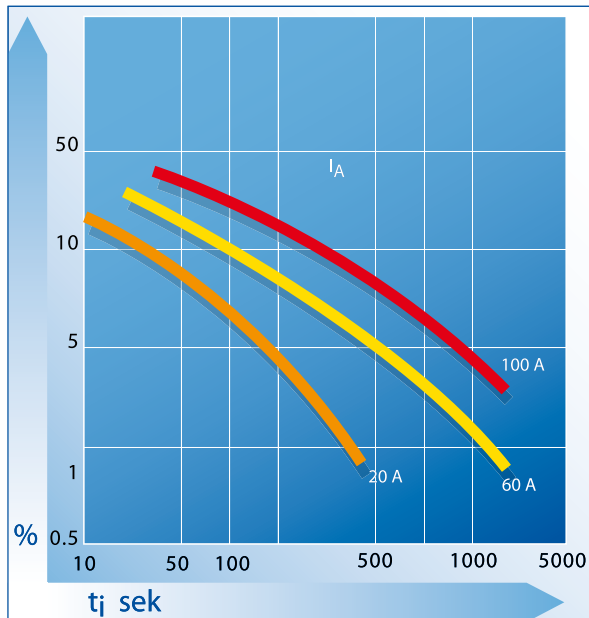


Abb. 2. Abhängigkeit des Elektrodenverschleißes von der Brennzeit.

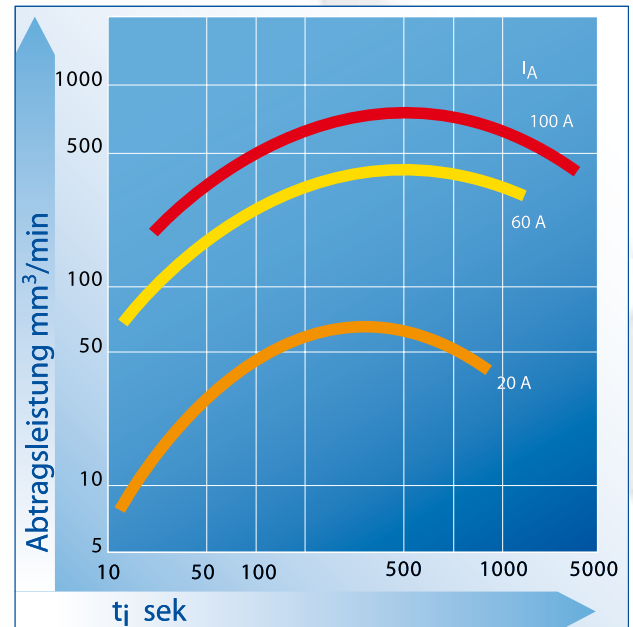


Abb.3. Abhängigkeit der Abtragsleistung von der Brennzeit.

Neben Abtragsleistung, Oberflächenrauheit und Elektrodenverschleiß hat die Beeinflussung der Eigenschaften an der Oberfläche des bearbeiteten Werkstoffes eine große Bedeutung. In den meisten Fällen konnte keine Beeinflussung der Funktion des bearbeiteten Werkzeuges nachgewiesen werden. In einigen Fällen wurde z.B. ein Schneidwerkzeug verschleißfester, in anderen Fällen traten dagegen vorzeitige Werkzeugbrüche auf.

Sämtliche Veränderungen, die festgestellt wurden, sind auf die starke Erhitzung der Randzone zurückzuführen. In dieser Randzone des Stahls werden das Gefüge, die Härte, der Spannungszustand und der Kohlenstoffgehalt beeinflusst. Abb. 4 zeigt einen Schnitt durch eine funkenerosiv geschruppte Oberfläche mit den verschiedenen Gefügeänderungen, die eine solche Randzone kennzeichnen.

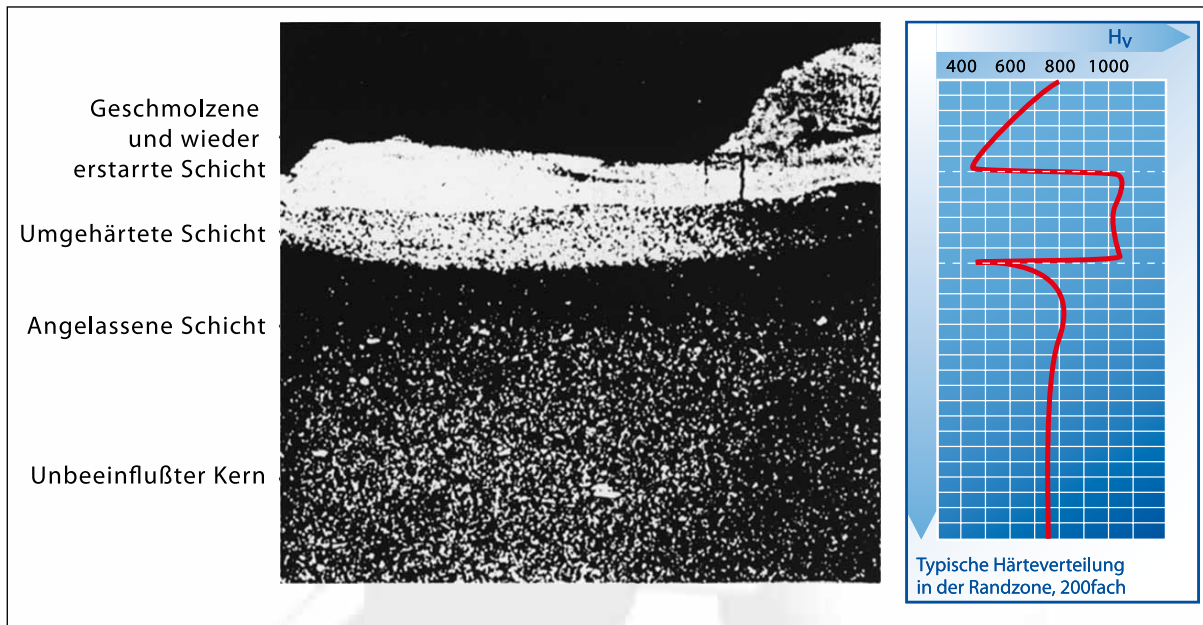


Abb. 4. Schnitt durch eine funkenerosiv bearbeitete Oberfläche mit Gefügeänderungen. Werkstoff: UHB Rigor, auf 57 HRC gehärtet.





Die **geschmolzene Schicht** (Abb. 5) zeigt deutlich, daß es sich um eine schnell erstarrte Schicht handelt. Lange Säulenkristalle sind beim Erstarren senkrecht aus der Metalloberfläche hochgewachsen. Ein Riß, der in dieser Schicht entsteht, folgt der Kristallrichtung entlang nach innen. Die geschmolzene Schicht besitzt bei normalem Schrumpfen eine Dicke von etwa 15 – 30 µm. In der **umgehärteten Schicht** ist die Temperatur über die Härtetemperatur gestiegen. Es ist ein harter und spröder Martensit entstanden. In der **angelassenen Schicht** war die Erhitzung nicht so hoch, daß der Stahl die Härtetemperatur erreicht hat. Der Stahl ist nur angelassen. Darunter befindet sich der unbeeinflusste Kern. Die Schichtdicken scheinen sowohl von der Stahlsorte als auch vom Elektrodenwerkstoff unabhängig zu sein. Es gibt jedoch einen eindeutigen Unterschied zwischen gehärteten und weichgeglühten Materialien. Im geglühten Werkstoff sind die Zonen dünner und die Risse sel-

tener. Die spröde gehärtete Zone kommt dabei kaum vor (Abb. 6 a+b). In den Schrumpfstufen variieren die Schichtdicken bedeutend mehr als in den Feinschichtstufen. Bei zunehmender Brennzeit des Funkens wird sowohl die geschmolzene als auch die gehärtete Zone dicker. Aus weiteren Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß die Stromstärke grundsätzlich in der gleichen Weise wie die Brennzeit einwirkt. Auch für die Häufigkeit der entstandenen Risse gilt, daß sie mit der Brennzeit zunimmt. Stähle von hohem Kohlenstoffgehalt bekommen die höchste Anzahl von Rissen. Bei niedrig gekohlten Einsatzstählen können nur einzelne Risse in der Schmelzzone auftreten. Ungefähr 20 % der Risse setzen sich nach unten in die gehärtete Zone fort und nur einzelne Risse reichen in die Kernzone. Im Kern ist die Rißtiefe selten größer als ca. 10 µm. Diese Risse im Kern treten hauptsächlich bei den hochlegierten Kaltarbeitsstählen und hochlegierten Schnellarbeitsstählen auf.

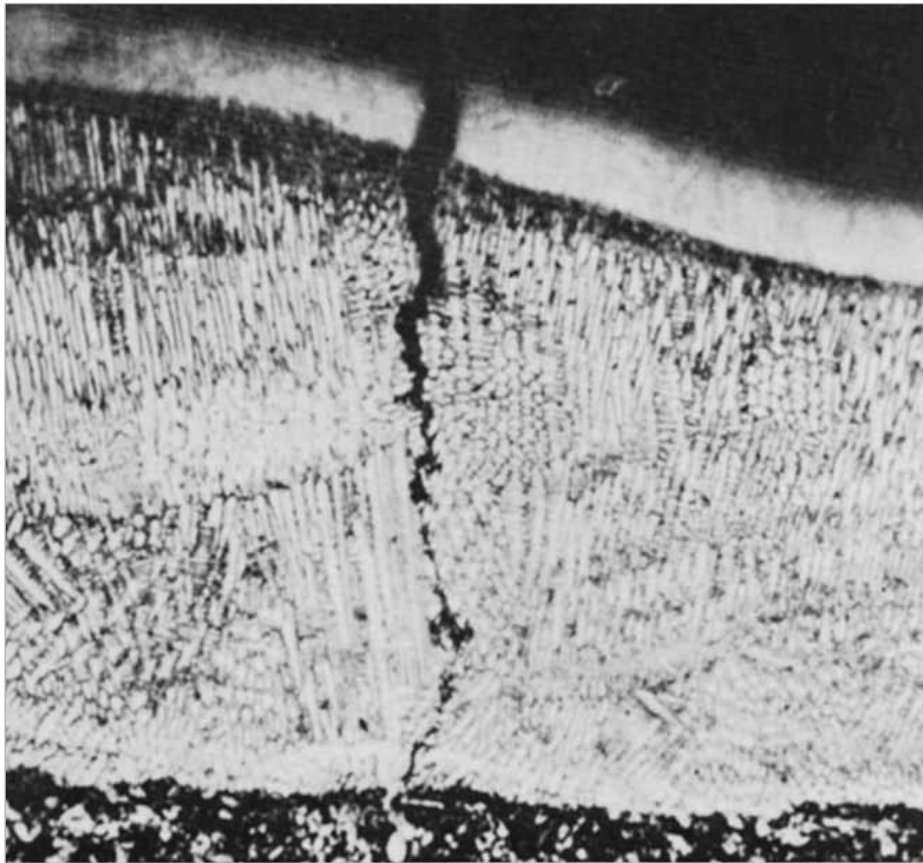


Bild 5

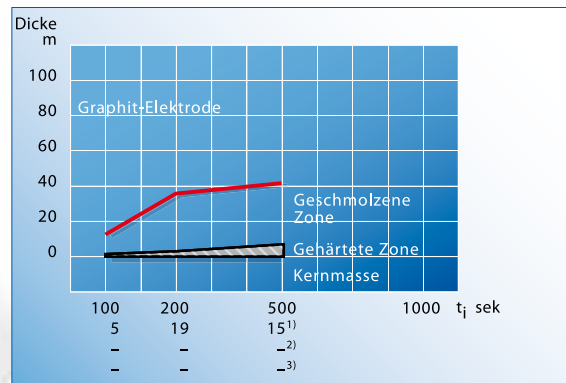
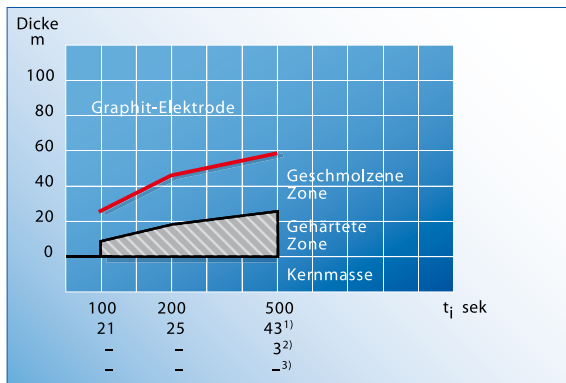
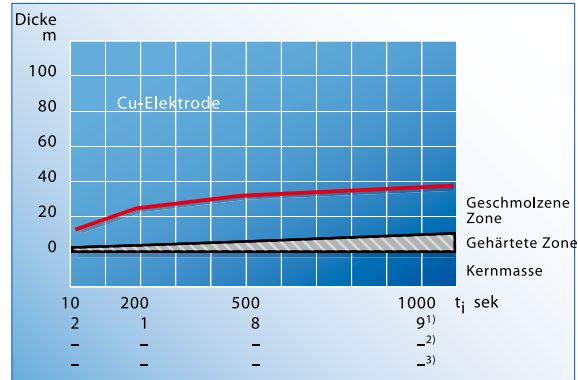
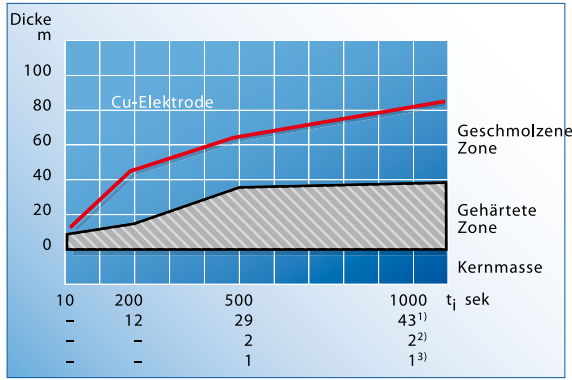


Abb. 6a. Schichtdicken und Rißfrequenzen in der Randzone bei funkenerosiver Bearbeitung von gehärtetem (52 HRC) UHB Orvar 2 Microdized bei verschiedenen Brennzeiten.

Anzahl Risse/cm
 1) (in der geschmolzenen Zone)
 2) (in der gehärteten Zone)
 3) (in der Kernmasse)

Abb. 6b. Desgleichen bei funkenerosiver Bearbeitung von UHB Orvar 2 Microdized in geglähtem Zustand.

Die Risse sind auf Spannungen zurückzuführen, die bei dem wiederholten schnellen Abschrecken durch das Dielektrikum entstehen sowie auf die Volumendifferenz zwischen den einzelnen Gefügebestandteilen in verschiedenen Schichten. Bei richtig ausgeführtem Erodieren mit abschließendem Schlichten werden die Oberflächenfehler, die durch das Schruppen entstanden sind, zum großen Teil ausgeschaltet. Wenn Schichten nicht möglich ist, kann man folgende Bearbeitung anschließen:

- Spannungsfrei anlassen** bei etwa 15° C niedrigerer Anlaßtemperatur als früher. Dies senkt die Oberflächenhärte, ohne daß der Kern beeinflusst wird.
- Weichglühen** und erneutes Härten und Anlassen führt zu einer fast vollständigen Wiederherstellung des Gefüges (bestehende Risse bleiben erhalten).
- Schleifen** oder **Putzen** entfernt sowohl

das Oberflächengefüge als auch die Risse. Entscheidend ist dabei die Spantiefe, die ca. 5 – 10 µm betragen soll.

Zusammenfassend kann man sagen, daß eine normal ausgeführte funkenerosive Bearbeitung, die aus Schrupp- und Schlichtstufen besteht, die beim Schruppen entstehenden Oberflächendefekte ausschaltet. Eine gewisse Gefügebeeinflussung bleibt natürlich immer bestehen. In den meisten Fällen hat sie jedoch keine Bedeutung. Es gibt sogar Fälle, in denen die ungehärtete Schicht infolge ihrer großen Härte die Verschleißfestigkeit des Werkzeuges verbessert. In anderen Fällen bietet die kraterartige Oberflächenstruktur der Werkzeuge den Schmierstoffen einen besseren Halt und verlängert dadurch die Lebensdauer.



9. IONOPLUS® ein neuer Weg zu besseren Dielektrika

Deutsches Patent Nr. 41 32 879 und amerikanisches Patent Nr. 5,773,782

Jeder erfahrene Bediener einer Funkerosionsmaschine wird mit dem Phänomen konfrontiert, daß er mit gebrauchtem Dielektrikum bessere Arbeitsergebnisse erzielt als mit einem gerade neu eingefüllten. Der Grund dafür sind fein verteilte Abtragspartikel, die einen schnelleren Aufbau des Entladungskanals ermöglichen. Vor vielen Jahren führte auch unsere Firma Versuche mit dielektrischen Arbeitsflüssigkeiten durch, denen Metallpigmente und organische Metalle zugegeben wurden. Es sollte ein „kontrollierter“ erhöhter Abtrag erzielt werden. Leider blieben die meisten dieser Additive nicht in einer homogenen Mischung, – selbst solche mit sehr niedrigem spezifischem Gewicht - oder wurden vom Filter aufgesaugt. Erst durch ein spezielles Verfahren konnten solche Partikel in Lösung gebracht, und damit eine Steigerung der Abtragsleistung erreicht werden.

Ausgangspunkt bei der Entwicklung von Dielektrikum IONOPLUS IME-MH® war der Gedanke, ein Dielektrikum zu formulieren, das universell zum Schruppen, Schlichten und zum Polieren eingesetzt werden kann. Außerdem sollte eine noch höhere Abtragsleistung und ein geringerer Elektrodenverschleiß ermöglicht werden. Physiologisch sollte das neue Dielektrikum absolut unbedenklich sein, und nicht mehr unter die Gefahrenklasse A III der Verordnung für brennbare Flüssigkeiten fallen. Selbstverständlich sollte es für alle gebräuchlichen Filteranlagen geeignet und einfach zu entsorgen sein.

Mit feinstverteilten im Dielektrikum schwimmenden Substanzen, die unter der Wirkung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden zu stärkeren Dipolen als die sie umgebenden Kohlenwasserstoffe werden, gelang es, dieses Ziel zu erreichen. Beim Anlegen der Spannung richten sich diese chemischen Satellitenelektroden entlang der Feldlinien des elektrischen Feldes aus. Dadurch entstehen in der dielektrischen Flüssigkeit Kanäle mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit. Die für den Funkendurchschlag erforderliche Entladungsbrücke wird schneller aufgebaut. Dies führt zu einem steileren Anstieg der Zündspannung, und damit zu einem schnelleren Funkendurchschlag. Damit wird der Materialabtrag pro Zeiteinheit gesteigert.

Im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen dielektrischen Arbeitsflüssigkeiten findet beim Dielektrikum IONOPLUS IME-MH® der Elektronenfluß nicht direkt von der Kathode zur Anode statt. Die Elektronen werden hier auf ihrem Weg überwiegend von

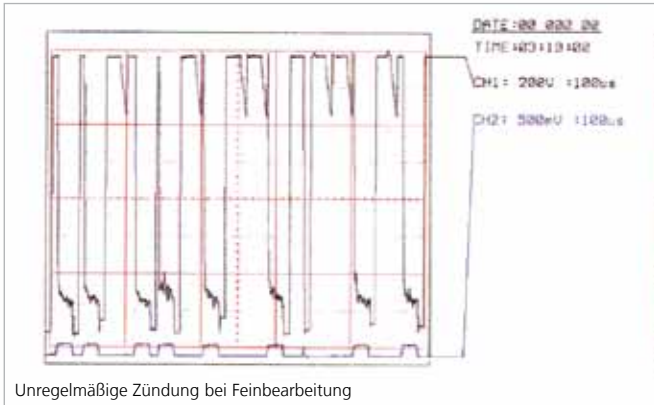
den feinstverteilten Satellitenelektroden angezogen und entlang vielfach verzweigter Entladungskanäle weitergeleitet. Da sie bei diesem Vorgang einen Teil ihrer kinetischen Energie verlieren, treffen sie mit einer verhältnismäßig geringen Energie auf die Anode auf. Durch den steilen Anstieg der Zündspannung wird gleichzeitig eine Verringerung der Zündzeitverzögerung erreicht. Beide Effekte bewirken eine Verringerung des Verschleißes der Anode. Der Elektrodenverschleiß reduziert sich daher gegenüber herkömmlichen dielektrischen Arbeitsflüssigkeiten um bis zu 30%.

Beim Poliererosieren (mit umgekehrter Polung) dient das Werkstück als Anode. Dadurch treffen die Elektronen jetzt, wiederum bedingt durch die chemischen Satellitenelektroden, mit gegenüber herkömmlichen Dielektrika geringerer kinetischer Energie und vergleichsweise breitgestreut auf das Werkstück auf. Die Satellitenelektroden bewirken einen beschleunigten Aufbau der Ionisationsbrücke und ermöglichen damit einen geringeren mittleren Arbeitsstrom zur Bearbeitung des Werkstückes.

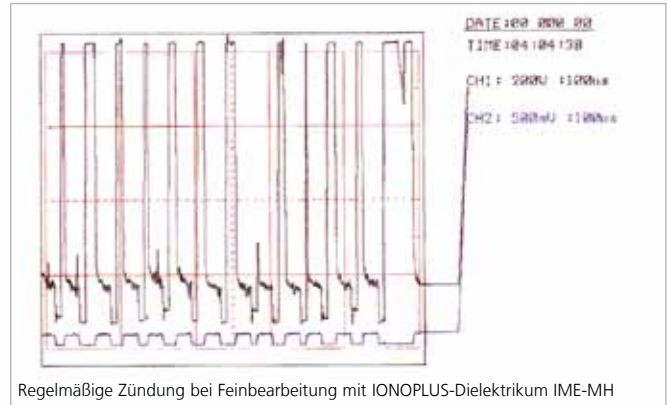
Durch diese neue Technik lassen sich sehr gut polierte Werkstückoberflächen mit Oberflächenrauheiten von weniger als 0,1 µ erzielen. Diese Polierleistung ist in ihrer Oberflächengüte und Schnelligkeit mit den bisher üblichen dielektrischen Arbeitsflüssigkeiten nicht erreichbar.

Der Einsatz von hochpolarisierbaren Substanzen im Dielektrikum IONOPLUS IME-MH® beeinflusst auch sehr positiv die Dispergierungseigenschaften. Die beim Funkerosionsprozeß entstehenden Schmutzpartikel werden explosionsartig feinstverteilt aus der Arbeitszone geschleudert. Dies reduziert die Kurzschlußneigung und führt zu einem ruhigen Ablauf des Funkerosionsprozesses. Ursache für diese gute Dispergierungseigenschaft sind die in den Satellitenelektroden ausgerichteten elektrischen Dipole, die aufgrund ihrer elektrischen Abstoßungskräfte eine schnellere Verteilung der Schmutzpartikel bewirken.

Technische Daten von IONOPLUS® IME-MH:	
Gefahrenklasse VbF:	keine
Wassergefährdungsklasse (WGK):	1
Transportklassifizierung:	keine
TKW-Kennzeichnung:	keine
GGVSee IMDG-Code	keine
IATA-RAR	
Artikel-Nr.	keine
Klasse	keine



Unregelmäßige Zündung bei Feinbearbeitung



Regelmäßige Zündung bei Feinbearbeitung mit IONOPLUS-Dielektrikum IME-MH

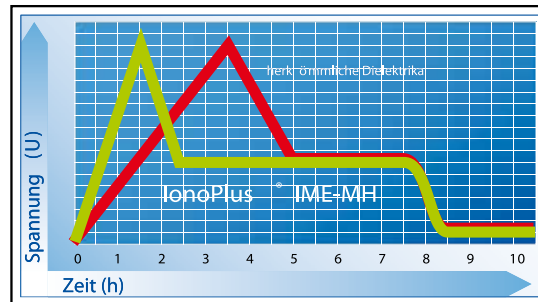
Durchschlagende Vorteile für den Funkenerosionsprozeß:

Das erste Dielektrikum mit dem Plus an Satellitenelektroden

Nach langjähriger Forschung stellt oelheld eine völlig neue „durchschlagende“ Dielektrikumskonzeption vor: IonoPlus[®] IME-MH. Im Gegensatz zu konventionellen Mineraloelraffinaten wird hier eine Kombination hochreiner Syntheseprodukte durch ein spezielles Blendingverfahren mit Satellitenelektroden angereichert. Als echtes Universal-Dielektrikum bietet IonoPlus[®] IME-MH vom Feinstschichtbereich bis zur maximal erreichbaren Schruppleistung neben optimierten Spüleigenschaften und höchster Durchschlagsfestigkeit eine Reihe einzigartiger Vorteile.

IonoPlus[®] IME-MH Dielektrikum wurde von der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg unter den Gesichtspunkten der Betriebssicherheit und der Arbeitshygiene eingehend

Technische Daten:		
Farbe	fluoreszierend grün	
Dichte bei 15° C (g/cm ³)	0,79	DIN 51757
Viskosität bei +40° C (mm ² /s)	2,50	DIN 51562
Pourpoint ° C	-15	DIN ISO 3016
Flammpunkt ° C	107	DIN EN 22719
Aromatengehalt (Gew.%)	0,01	DIN 51378



geprüft. Toxische oder allergische Erscheinungen können beim Einsatz nicht auftreten. Eine Toleranzgrenze in der Raumluft des Arbeitsplatzes (MAK-Wert) wird nicht erreicht.

IonoPlus[®] IME-MH Dielektrikum ist für alle gebräuchlichen Filteranlagen geeignet. IonoPlus[®] IME-MH Dielektrikum fällt nicht unter die Verordnung für brennbare Flüssigkeiten (VbF).

• Steigerung der Abtragsrate

Die erforderliche Zeit zum Aufbau der Ionisationsbrücke wird wesentlich verkürzt.

• Verschleißreduzierung

Makro-Moleküle umringen die Elektrode wie ein Schutzgitter

• Bessere Oberflächengüte

Satellitenelektroden bewirken eine optimale Entladungsverteilung.

• Glänzende Polierergebnisse

Es können Oberflächenrauheiten Ra von weniger als 0,1 µm in kürzester Zeit erzielt werden.

• Optimales Dispergiervermögen

„Blitzartiges“ Dispergieren der Schmutzpartikel wirkt aktiv der Brennstellenbildung entgegen.

10. Dielektrikum IME 63, IME 82, IME 110, IME 126

Die Dielektrika der IME-Reihe sind katalytisch hergestellte Syntheseprodukte von höchster Durchschlagsfestigkeit. Sie sind wasserhell und nahezu geruchlos. Beim Erosionsbetrieb ändert sich ihre Farbe nicht. Sie erreichen den Reinheitsgrad pharmazeutischer Weißöle und enthalten nur geringe Spuren von Aromaten. Toxische oder allergische Erscheinungen an der menschlichen Haut oder dem Auge können beim Einsatz der IME-Reihe nicht auftreten. Die dielektrischen Arbeitsflüssig-

keiten der IME-Reihe wurden von der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg auf Betriebssicherheit und Arbeitshygiene untersucht. Eine Toleranzgrenze in der Raumluft des Arbeitsplatzes (MAK-Wert) wird nicht erreicht.

Die Dielektrika der IME-Reihe wurden in umfangreichen Versuchsreihen getestet und sind jahrzehntelang erprobt. Sie werden von den führenden Herstellern von Funkerosionsanlagen ausdrücklich empfohlen.

DIELEKTRIKUM IME 63

DIELEKTRIKUM IME 63 ist ein extrem dünnflüssiges Dielektrikum mit geringster Oberflächenspannung. Es ist besonders geeignet für Arbeiten im Feinstschichtbereich bei geringstem Funkenspalt, z.B. Mikrobohrungen bei der Spinddüsenfertigung, Erodieren von Bauteilen der Mikroelektronik.

DIELEKTRIKUM IME 82

Dielektrikum IME 82 ist ein abtragsintensives und verschleißbarmes Dielektrikum für den universellen Einsatz im Werkzeug- und Formenbau. Selbst Schrupperoperationen mit Stromstärken von 600 A können mit Dielektrikum IME 82 durchgeführt werden.

DIELEKTRIKUM IME 110

Dielektrikum IME 110 wird immer dann eingesetzt, wenn aus Sicherheitsgründen ein Flammpunkt von über 100° C gefordert wird und gleichzeitig noch viele Schichtarbeiten ausgeführt werden müssen. Dielektrikum IME 110 liegt außerhalb der Gefahrenklasse A III.

DIELEKTRIKUM IME 126

Dielektrikum IME 126 ist ein abtragsintensives Dielektrikum für den Schrubbereich, z.B. Herstellung von Gesenken. Im Schichtbereich kann es nur eingesetzt werden, wenn optimale Spülbedingungen angetroffen werden.

Technische Daten der Dielektrika				
	IME 63	IME 82	IME 110	IME 126
Farbe	wasserhell	wasserhell	wasserhell	wasserhell
Dichte bei 15 °C g/m	0.765	0.789	0.775	0.824
Viskosität cSt. bei 20 °C	1.8	3.0	3.4	5.8
Flammpunkt °C (PM)	63	82	106	114
Stockpunkt °C	-40	-40	-6	-5
Aromatengehalt Vol. %	0.003	0.02	0.01	0.1
Durchschlagsspannung KV bei 2.5 mm	58	59	57	52
Gefahrenklasse VbF	A III	A III	keine	keine
Wassergefährdungsklasse (WGK)	1	1	1	1
Transportklassifizierung				
Straße ADR/GGVs und Schiene RID/GGVE	keine keine	keine keine	keine keine	keine keine
TKW-Kennzeichnung Gefahrenkennzahl Stoffkennzahl	keine keine	keine keine	keine keine	keine keine
GGVSee IMDG-Code	keine	keine	keine	keine
IATA-RAR Artikel-Nr. Klasse	keine keine	keine keine	keine keine	keine keine

Verschiede IME-Sorten im Testvergleich

In praktischen Erosionstests wurden die Abtragsleistung und das Verschleißverhalten der IME-Reihe geprüft. Es wurden folgende Materialpaarungen und Bearbeitungsstufen gewählt:

a) Materialpaarung

Elektrode

- 1) El. Kupfer
- 2) Grafit (Ellor 9)

Werkstück

- Kaltarbeitsstahl X 210 Cr 12
- Kaltarbeitsstahl X 210 Cr 12

b) Bearbeitungsstufen

	Schruppen	Schlichten
Rauheit R max. ca. (m)	60	10
Bearbeitungszeit (Min.)	15	60
Elektrodenform rund \varnothing (mm)	35	25
Leerlaufspannung (V)	100	100
mittlere Arbeitsspannung (V)	28	28-30
mittlerer Impulsstrom (A)	36	6
Impulsdauer t_i (μ sec)	200	10
Pausendauer (μ sec)	12	2,6
Spülbohrung \varnothing (mm)	7	5
Vw (mm ³ /min) = Abtragsleistung $V\%$ = Elektrodenverschleiß als Verhältniszahl in Prozent, wieviel Materialvolumen an der Elektrode als Verschleiß gegenüber dem am Werkstück abgetragenen Volumen verlorengegangen ist.		



Bei den hier gewählten Einstellungen handelt es sich um leicht beherrschbare Bearbeitungsstufen, die keine Schwierigkeitsgrade aufweisen. Die Abtragsleistung und der Elektrodenverschleiß wurden durch Wägen ermittelt und in volumetrische Einheiten umgerechnet.



Schruppen

Bei der Bearbeitung von Kupfer/Stahl im Schrubbereich ergab sich die geringste Abtragsleistung für IME 63, die höchste für IME 126. Der Elektrodenverschleiß war beim IME 63 am geringsten und am größten bei IME 126 (s. Bild 1).

Auch bei der Materialpaarung Grafit/Stahl zeigte sich ein ähnliches Bild. Den höchsten Abtrag erreichte IME 126, den geringsten IME 63. Verblüffend war, daß sich bei der Sorte IME 110 kein meßbarer Elektrodenverschleiß zeigte.

Schruppen n 12 Tr./200 µ sek

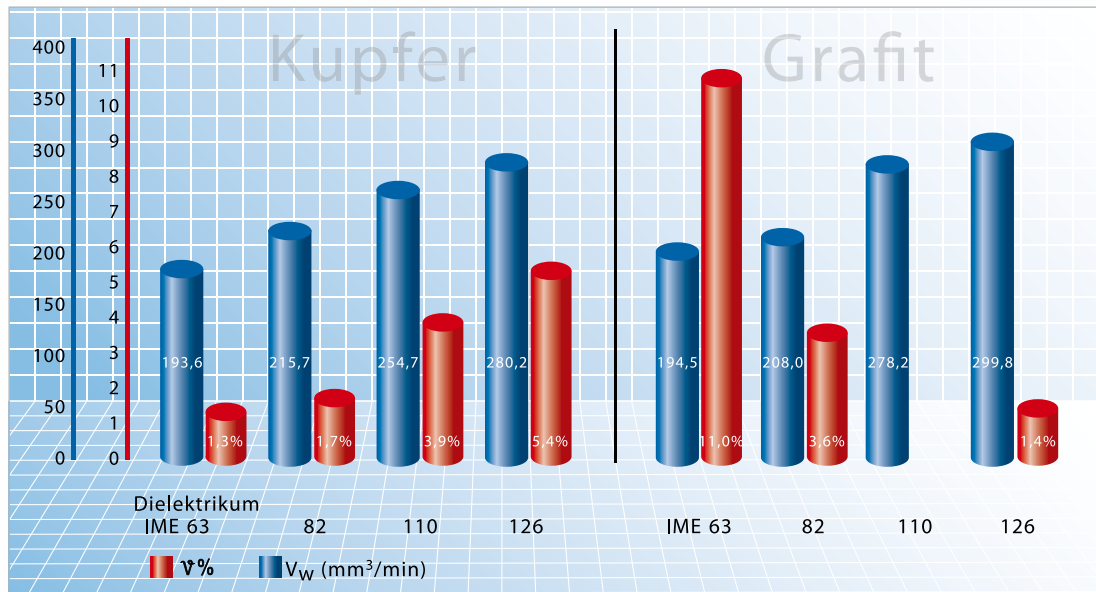


Bild 1

Schlichten

Im Schlichtbereich bei der Materialpaarung Kupfer/Stahl erreichte IME 126 die höchste Abtragsleistung, dicht gefolgt von IME 82 und IME 63. Der weitaus geringste Elektrodenverschleiß ergab sich

beim Einsatz von IME 63 (s. Bild 2). Bei Grafit/Stahl erzielte IME 126 ebenfalls die höchste Abtragsleistung. Die Abtragsleistung von IME 82 blieb nur geringfügig darunter.

Schlichten nnn 2 Tr./10 µ sek

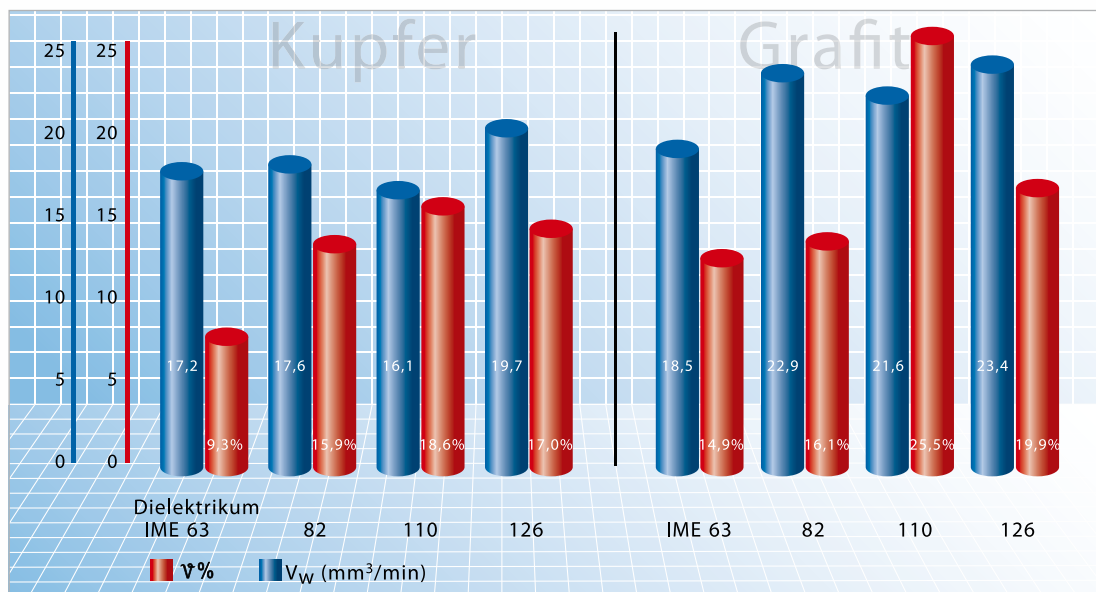


Bild 2

Alle diese Testergebnisse gelten nur für die angegebenen Einstellungs- und Werkzeugpaarungen. Sie sollen den unterschiedlichen Einfluß des Dielektrikums auf den Bearbeitungsprozeß deutlich

machen. Das ausgezeichnete Ergebnis von Dielektrikum IME 126 im Schlichtbereich ist unter erschwerten Spülbedingungen sicher nicht zu erreichen.

11. Dampfbildung bei der Funkenerosio

Die beim Erodieren entstehenden Dämpfe setzen sich aus Dämpfen des Dielektrikums und aus Metalldämpfen zusammen. Die Dämpfe der Dielektrika IME 63, IME 82, IME 110 und IME 126 enthalten auch nach längerem Gebrauch keine Benzolverbindungen, z.B. polyzyklische Aromaten vom Typ der Benzpyrene. Eine negative Beeinträchtigung der Gesundheit durch die IME-Reihe erfolgt nicht. Dies gilt jedoch nicht für die entstehenden Metalldämpfe (z. B. Wolframcarbid, Titanarbid, Chrom, Nickel, Molybdän). Wichtig ist, daß die Erodierstelle möglichst hoch mit Dielektrikum über-

deckt ist, damit der größte Teil der Metalldämpfe im Dielektrikum kondensieren kann. Die VDI-Richtlinie 3402 fordert eine Überdeckung der Erodierstelle von 40 mm. Aus gesundheitlichen Gründen ist jedoch eine Überdeckung von 80 mm empfehlenswert. Bei den aus dem Dielektrikum aufsteigenden Metalldämpfen handelt es sich um die gleiche Problematik wie sie beim Schweißen von Metallen auftritt. Bei hohen Schruppleistungen ist es daher empfehlenswert, die entstehenden Dämpfe abzusaugen.

12. Dielektrikum und die menschliche Haut

Aufgrund der jahrzehntelangen Erfahrung mit den Dielektrika IME 63, IME 82, IME 110 und IME 126 und aufgrund ihrer Zusammensetzung kann gesagt werden, daß keine schädigende Einwirkung auf die Haut eintritt. Der arbeitsbedingte direkte Kontakt mit der menschlichen Haut erfolgt praktisch ausschließlich über die Hände. Die hautanhaftenden Flüssigkeitsreste lassen sich ohne Anwendung mechanisch oder chemisch aggressiver Reinigungsmittel entfernen. Dadurch werden auch Sekundär-schädigungen vermieden. Bei hautempfindlichen bzw. zu Allergien neigenden Personen ist eine Vorhersage des Verhaltens zwar generell sehr schwer, aus der praktischen Erfahrung heraus kann jedoch eine Negativreaktion nur äußerst selten eintreten (Prüfgutachten der Forschungs- und

Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg liegen vor). Negativ auf die Haut wirken sich die im verschmutzten Dielektrikum schwebenden Abtragspartikel aus. Es handelt sich dabei um mikrofeine hohle Stahlkugeln, die an einer Seite offen sind und sehr scharfe Schneidkanten besitzen. Diese Kugeln verletzen sehr leicht die Oberhaut, so daß es dann zu Hautschäden kommen kann. Eine weitere Sensibilisierung der Oberhaut kann auch durch die Einnahme von Arzneimitteln, z.B. Penicillin, erfolgen. In allen diesen Fällen empfiehlt es sich, vor dem Arbeiten an der Funkenerosionsmaschine die Hände mit einer öllunlöslichen Hautschutzsalbe einzureiben. Vom Dielektrikum durchtränkte Kleidungsstücke sollten unverzüglich gewechselt werden.



13. „7 goldene Regeln“ im Umgang mit dem Dielektrikum

Der richtige Umgang mit dem Dielektrikum beginnt bereits bei der Lagerung der Gebinde:

- Wenn die Fässer im Freien gelagert werden, sollten sie immer liegen und nie stehen, damit sie kein Regenwasser einsaugen können.
- Beim Einfüllen des Dielektrikums in die Maschine müssen dafür geeignete saubere Pumpen oder Gefäße benutzt werden. Pumpen, mit denen zuvor Säuren oder Laugen gepumpt wurden, zerstören das beste Dielektrikum sofort. PVC-Schläuche sind nicht ölbeständig und werden bei längerem Gebrauch hart.
- Korrosionsschutzmittel, die zum Schutz der Maschine beim Transport verwendet werden, müssen vor Einfüllen des Dielektrikums entfernt werden.
- Chlorkohlenwasserstoffe (z.B. Trichloräthylen, Perchloräthylen, Trichloräthan oder Frigen) sind für das Dielektrikum tödlich. Unter dem Einfluß des elektrischen Funkens verbinden sich die Kohlenwasserstoffe des Dielektrikums mit den Chloratomen und bilden Salzsäure. Eine Funkenerosionsmaschine darf daher nie mit Tri oder ähnlichen Stoffen gereinigt werden. Es ist besser dafür einige Liter Dielektrikum zu verwenden. Formen, die aus Tri-Reinigungsbädern kommen, müssen vor dem Aufspannen in der Maschine absolut trocken sein.
- Säuren, die zum Abbeizen von Elektroden verwendet werden, dürfen nicht in das Dielektrikum gelangen.
- Die Hydraulikanlage einer Funkenerosionsmaschine sollte absolut dicht sein. Beimischungen von 1 – 2 % sind für den Funkenerosionsprozeß noch unproblematisch. Größere Mengen Hydrauliköl im Dielektrikum führen infolge des großen Additivgehaltes dieser Öle zu Störungen. Bei Maschinen mit elektrischen Servomotoren besteht diese Gefahr nicht.
- Immer wieder führen Lecks in Wasserkühlern von Dielektrikumaggregaten zu einer „wundersamen“ Erhöhung des Dielektrikumspiegels und zu verrosteten Maschinentischen. Da sich das Dielektrikum schnell und vollständig vom Wasser trennt, kann nach ca. 1 Tag das Wasser auf dem Boden des Dielektrikumbehälters abgesaugt oder das Dielektrikum vorsichtig von oben abgeschöpft werden. Eine Verwendung des Dielektrikums ist dann wieder möglich.

Wenn Sie diese Regeln im Umgang mit dem Dielektrikum beachten, kann das Dielektrikum in Aggregaten mit Papierfiltern ca. 1 – 2 Jahre und in sogenannten Anschwemmanlagen ca. 10 – 20 Jahre lang eingesetzt werden.

14. Wirkung einer funkenerosiven Entladung auf die Metalloberfläche

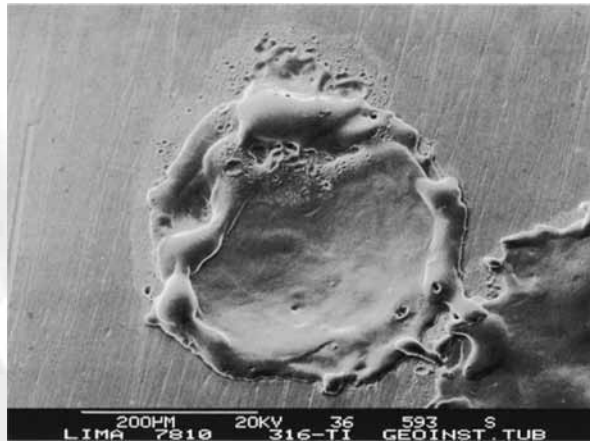
Kraterbildung

Beim Funkenerosionsprozeß entlädt sich die elektrische Spannung und ein Funke schlägt über. Wo er aufschlägt, wird das Metall so sehr erhitzt, daß es schmilzt und verdampft. Es entsteht ein Krater. Unzählige solcher Funken sprühen einer nach dem anderen, und es entstehen Krater neben Krater. Der Durchmesser der fotografierten Krater liegt bei ca. 200 µm.

Jeder dieser Krater hat einen typischen Wall mit einer thermisch beeinflussten Zone.

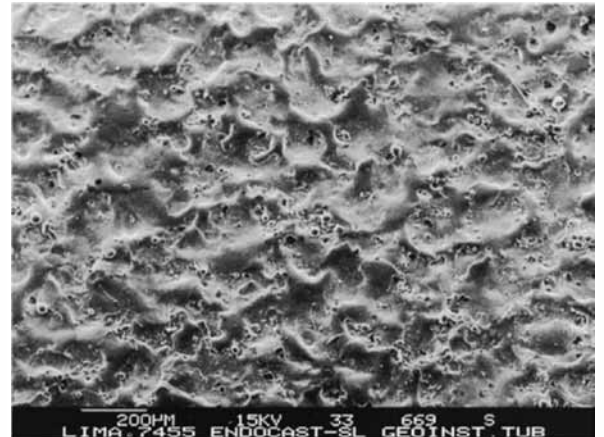
Hier ist ein Krater auf einem Titan-Werkstück abgebildet. Deutlich ist eine Profilstruktur zu erkennen, die durch das schnelle Erstarren des erhitzten Titans entstand. Ein Teil des flüssigen Titans wurde in das Dielektrikum geschleudert.

Die Aufnahmen erfolgten durch ein Elektronenmikroskop. Um den einzelnen Krater gut sichtbar zu machen, wurde eine polierte Metalloberfläche verwendet. Damit die Kraterwälle sich nicht überlappen, durfte die Funkenerosionsmaschine nur für den Bruchteil einer Sekunde eingeschaltet werden.

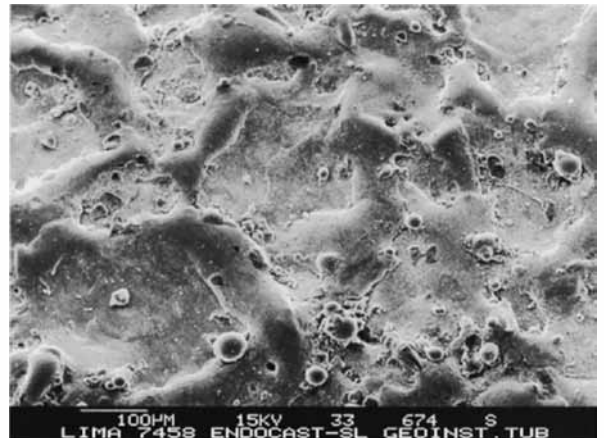


Erodierte Oberflächen

Das Charakteristische einer erodierten Oberfläche sind die unzähligen, nebeneinanderliegenden Krater mit ihren ineinanderfließenden Kraterwällen. Zusätzlich haften an der Oberfläche mikrofeine Abtragspartikel an.



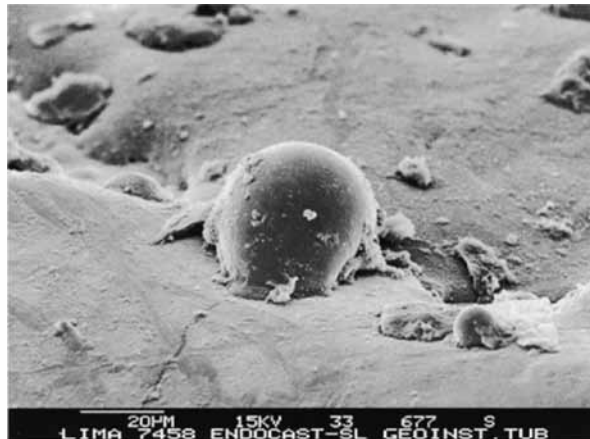
Durch eine weitere Vergrößerung kann man auf demselben Werkstück deutlich die Kraterwälle und die anhaftenden Mikropartikel sowie ein Loch in der Metalloberfläche sehen.



Nochmals vergrößert zeigt es sich, daß von diesen Löchern Mikrorisse ausgehen. Diese Risse sind Zeichen einer überhitzten Oberfläche.

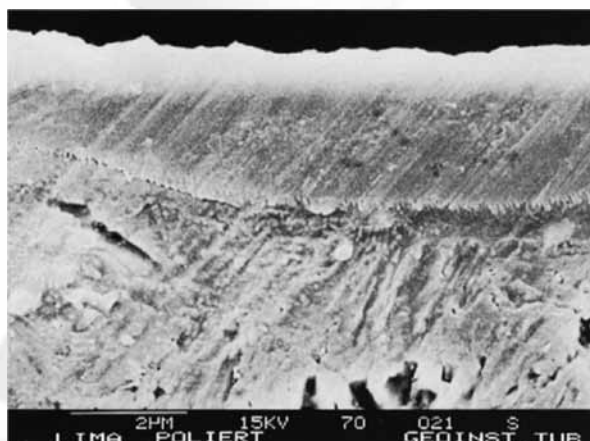
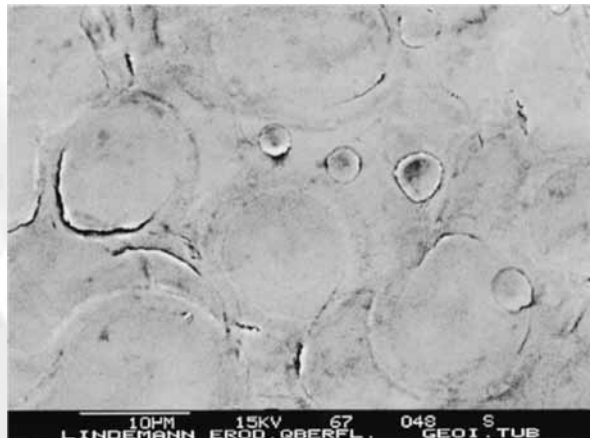


Wählt man mit dem Elektronenmikroskop eine stärkere Vergrößerung, so werden diese Mikrorisse sehr deutlich. Sogar die Abtragspartikel sehen „menschlich“ aus. Man kann „Augen, Ohren und einen Mund“ erkennen.



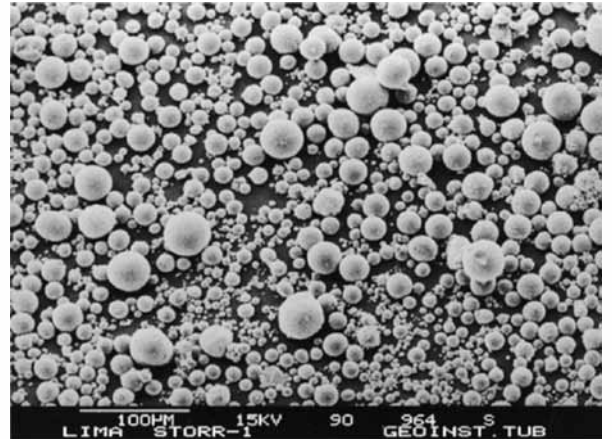
Funkenerosiv polierte Oberfläche

Wird mit dem Funkenerosionsprozeß poliert, so werden die Kraterwände weitgehend abgetragen. Ein Schnitt durch ein funkenerosiv poliertes Werkstück zeigt deutlich, daß es nur eine sehr geringe weiße Schicht gibt, und daß die beeinflusste Zone nur ungefähr 2 µm beträgt.

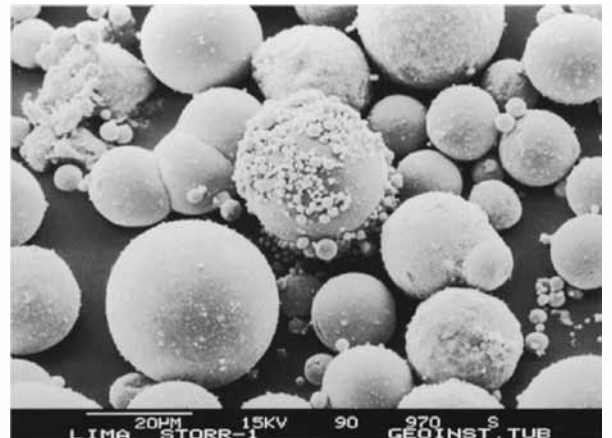


Abtragspartikel

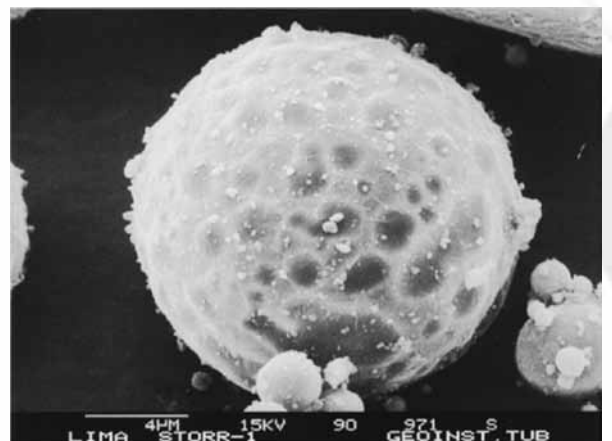
Mit bloßem Auge sieht der Erodierschlamm schwarz aus. Wird der Erodierschlamm eines Lohnerodierers, der mit verschiedenen Materialien arbeitet, mit Aceton ausgewaschen und danach unter ein Elektronenmikroskop gelegt, so entdeckt man eine Vielzahl großer und kleiner Kugeln.



Weiter vergrößert, erkennt man deutliche Unterschiede der Abtragspartikel. So sind z.B. drei Abtragspartikel zu einem „Drilling“ zusammengesmolzen, ein großer Partikel ist mit einem kleinen verschmolzen (Mutter und Kind), und auf einem großen Partikel haben sich viele kleine Partikel entweder durch elektrostatische oder magnetische Kraft angesammelt.



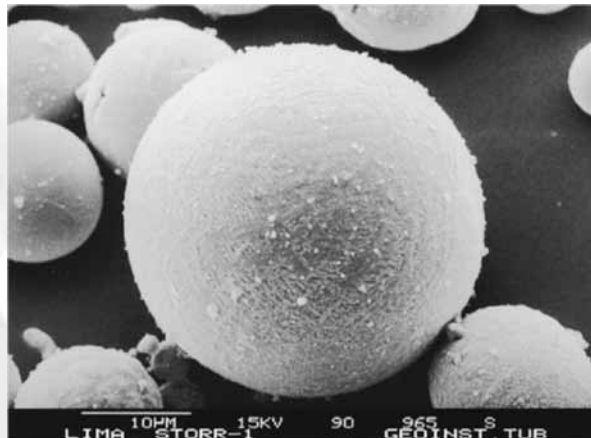
Einige Partikel sehen aus wie Golfbälle, oder wie unser Nachbarplanet Mars mit seinen berühmten Marskanälen.



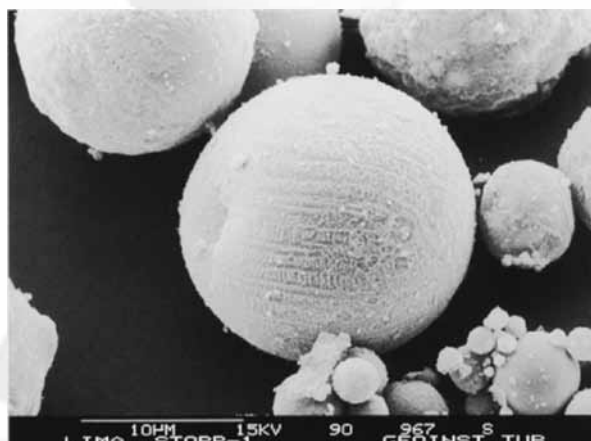
Andere Abtragspartikel wiederum haben eine textile Struktur, ...



... oder wirken samtig wie ein Pfirsich.



Viele Partikel haben eine seitliche Einbuchtung, die durch das rasche Zusammenziehen des Metalls entstehen. Wenn man Werkzeugstahl verwendet, sind diese Mikrokugeln oft hohl mit scharfen Kanten, die die menschliche Haut verletzen können.



15. Sicherheit und Umwelt

Auszug aus der VDI-Richtlinie 3402 für Senkerodieranlagen

3.3.1 Allgemeines

Beim Betrieb von Elektroerodieranlagen (Funkenerodieranlagen) müssen die Arbeitsschutz- und Unfallverhaltensvorschriften sowie die allgemein anerkannten sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Regeln [5; 25] beachtet werden.

3.3.2 Bearbeitungs- und Arbeitsraum /Aufstellung

Der Bearbeitungsraum muß vom Betreiber der Anlage so belüftet werden, daß sich nicht Gase, Dämpfe, Nebel oder Rauch gesundheitsgefährdend auswirken können [6; 7]. Darüber hinaus muß dadurch auch sichergestellt sein, daß sich keine zündfähige Atmosphäre bilden kann.

Erforderlichenfalls sind die erwähnten Stoffe am Bearbeitungsraum der Elektroerodieranlage abzusaugen (siehe auch Abschnitt 2.3.3).

In Abhängigkeit vom benutzten Arbeitsmedium, der Betriebsart der Anlage und der Werkstück- bzw. Elektrodenwerkstoffe können sich eine explosionsfähige Atmosphäre und gesundheitsgefährliche Dämpfe, Gase und Rauch bilden, z.B. Benzol, Ni-, Cr-, Be- und andere Metaldämpfe sowie Ruß und Wasserstoff, die es erforderlich machen, eine Absaugvorrichtung an die Erodieranlage anzubauen (siehe auch Abschnitt 2.3.3) [5; 6; 6a; 6b].

Räume, in denen Elektroerodieranlagen mit leicht entzündlichen Arbeitsmedien der Gefahrenklasse A II (Flammpunkt 21 bis 55° C) und A III (Flammpunkt 55 bis 100° C) der VbF betrieben werden, gelten als feuergefährdet. Die Elektroinstallation muß den Bedingungen für feuergefährdete Betriebsstätten genügen [23; 24].

Der Umgang mit offenem Licht und das Rauchen sind durch Anschlag zu verbieten. In großen Räumen genügt für dieses Verbot ein Sicherheitsabstand von 5 m um die Maschine. Innerhalb dieses Sicherheitsabstandes sind Feuerlöscher in genügender Anzahl und Größe bereitzustellen.

Unter Berücksichtigung von umweltgefährdenden Eigenschaften der benutzten Betriebsmittel und der anfallenden Abfallprodukte sowie unter Berücksichtigung der vorhandenen Mengen sind die vorgeschriebenen Maßnahmen (z.B. gegen Versickern oder gegen Abfließen in Abwässerkanäle) zu treffen.

Elektroerodieranlagen sind HF-Einrichtungen, für deren Betrieb eine gesetzliche Meldepflicht an die zuständige Behörde (z.B. Deutsche Bundespost) besteht. Die erforderliche Betriebserlaubnis ist an die Einhaltung von Grenzwerten für Störfeldstärken und Störspannungen gebunden [2].

Je nach Aufstellungsort können folgende Maßnahmen in Betracht kommen: Erdung, Netzfilterung und Schirmung. Die Einhaltung der Grenzwerte wird im allgemeinen erleichtert durch

- Aufstellung in ebenerdigen Räumen,
- schirmende Gebäude,
- zweckmäßige HF-Erdung,
- Filterung,
- ausreichenden Abstand von den Grenzen der zusammenhängenden Betriebsräume oder des Industriegebietes.

3.3.3 Betrieb

Es ist sicherzustellen, daß der Schutz gegen direktes Berühren unter Spannung stehender Teile stets gewähr-

leistet ist. Besonders ist darauf zu achten, daß bei außer-

gewöhnlichen Bearbeitungen (z.B. aus dem Arbeitsraum herausragende Elektroden, Spannmittel oder Werkstücke) die Vorschriften über den Schutz gegen direktes Berühren durch zusätzliche Verdeckungen oder Verkleidungen eingehalten werden. Ebenso ist dafür Sorge zu tragen, daß das Niveau des Arbeitsmediums beim Betreiben der Anlage mindestens 40 mm über dem höchsten Punkt der Erodierzone eingestellt ist. Außerdem muß der Schaltpunkt des Temperaturfühlers mindestens 15 K unter dem Flammpunkt des benutzten Arbeitsmediums eingestellt sein.

Es ist sicherzustellen, daß die Einrichtungen zum Schutze gegen gesundheitsgefährliche Stoffe stets wirksam sind. Bei Ausfall dieser Einrichtungen muß die Elektroerodieranlage automatisch abschalten. Der Betrieb von Elektroerodieranlagen ist nur zulässig, wenn

- zwei voneinander unabhängig wirkende Einrichtungen zur Überwachung des Flüssigkeitsstandes im Arbeitsbehälter nach Abschnitt 2.3.4 und zwei voneinander unabhängig wirkende Einrichtungen zur Temperaturüberwachung des Arbeitsmediums angeschlossen sind;
- außer den vorgeschriebenen Feuerlöschern in der Nähe der Maschinen zusätzliche Maßnahmen (z.B. automatische Feueralarm- bzw. Feuerlösch-Einrichtung) getroffen sind.

Leicht entzündliche Arbeitsmedien nach Gefahrenklasse A I der VbF (Flammpunkt unter 21 °C) sind nicht zulässig.

Am Dielektrikumaggregat ist ein Schild mit Angabe des verwendeten Arbeitsmediums und dessen Flammpunkt anzubringen.

Elektroerodieranlagen dürfen nur von Personen bedient werden, die vom Unternehmer oder dessen Vertreter eingewiesen und beauftragt sind. Bei der Einweisung ist besonderer Wert auf die Belehrung über die Gefahren und Schutzmaßnahmen zu legen. Die Belehrung ist in regelmäßigen Abständen, mindestens jährlich, zu wiederholen.

Das eingewiesene oder ausgebildete Personal hat die Schutzeinrichtungen gemäß der Bedienungsanleitung des Herstellers regelmäßig auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen. Bei festgestellten Mängeln, die die Sicherheit beeinträchtigen, ist die Anlage so lange stillzusetzen, bis die Mängel beseitigt sind. Absaugkanäle sind in festzulegenden Zeitabständen zu reinigen.

Die Schutzeinrichtungen gegen direktes Berühren und die Überwachungseinrichtung für das Niveau des Arbeitsmediums über der Funkenstrecke sind bei jedem Einrichten auf Vorhandensein und Wirksamkeit zu prüfen.

Falls Arbeitsmedien oder Betriebsmittel zur Verwendung kommen, welche schädliche Einwirkungen hervorrufen können (z.B. Hautreizung), sind die erforderlichen persönlichen Schutzausrüstungen zu verwenden [25].

Bei einem Austausch von Teilen, die der Sicherheit und dem Umweltschutz dienen, ist darauf zu achten, daß nur Teile gleicher Bauart verwendet werden und nach dem Austausch die Funktion gewährleisten.

Bei der Entsorgung des Arbeitsmediums und des Schlammes sind die entsprechenden Vorschriften der jeweiligen Landesbehörden zu beachten [32].

Für die freundliche Unterstützung bei der Herstellung dieser Informationsschrift bedanken wir uns bei den Firmen:

AGIE, AG für Industrielle Elektronik, Losone/Schweiz
AGIE GmbH, Schorndorf/Deutschland
CHARMILLES Technologies S.A., Meyrin/Schweiz
CHARMILLES Technologies GmbH, Fellbach/Deutschland
exeron GmbH, Fluorn-Winzeln/Deutschland
FAUDI, Stadtallendorf/Deutschland
OPS INGERSOLL GmbH, Burbach/Deutschland
Dr. W. LINDEMANN, Universität Tübingen/Deutschland
MANN & HUMMEL, Ludwigsburg/Deutschland
ONA S.A., Durango/Spanien
TRANSOR Filter GmbH, Usingen/Deutschland
UDDEHOLM, Hagfors/Schweden
ZIMMER & KREIM GmbH & Co. KG, Brensbach/Deutschland

August 2006

Dr. Manfred Storr



Diese Informationsschrift soll Sie nach bestem Wissen beraten. Sämtliche Angaben und Daten entsprechen dem Stand der Drucklegung. Änderungen im Sinne des technischen Fortschritts behalten wir uns vor. Aufgrund der vielseitigen anwendungstechnischen Besonderheiten erfolgen die Angaben unter Ausschluß jeder Verbindlichkeit und Haftung.

Impressum:

oelheld GmbH

Ulmer Straße 135-139

D-70188 Stuttgart

Tel +49 (711) 16 86 3-0

Fax +49 (711) 16 86 3-40

E-mail hutec@oelheld.de

Internet www.oelheld.de

Hightech-Produkte für Maschinen – weltweit!

Die oelheld GmbH ist nicht nur mit eigenen Häusern in Frankreich, England und den USA am Markt, sondern wird durch Repräsentanten in den meisten Ländern weltweit vertreten.

oelheld U.S., Inc.
1760 Britannia Drive, Unit 1
Elgin Illinois 60124
phone: +1-(847)-531-8501
fax: +1-(847)-531-8511
E-Mail: hutec-us@oelheld.com
web: www.oelheld-us.com

oelheld UK Ltd.
Unit 16, Colomendy Business Park, Erw Las
Denbigh, LL16 5TA.
Tel: +44 (0)1745-814-777
Fax: +44 (0)1745-813-222
E-Mail: sales@oelheldgroup.co.uk
Internet: www.oelheld.com

oelheld technologies SAS
Technopôle de Forbach-Sud
140, Avenue Jean-Eric Bousch, 57600 Oeting
Téléphone : +33 (0)3.87.90.42.14
Télécopie : +33 (0)3.87.84.66.91
E-Mail : hutec@oelheld.fr
Internet : www.oelheld.fr

oelheld (Shanghai) Trading Co., Ltd.
Room 1908, Hitime International Building
No.888, Sichuan Road(N)
Hongkou District, Shanghai, 200080
Phone: +86-21-36521751
Fax: +86-21-36521753
E-mail: hutec@oelheld.com.cn
Internet: www.oelheld.com.cn

- Argentina
- Austria
- Australia
- Belgium
- Bosnia
- Bulgaria
- Canada
- China
- Croatia
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- Finland
- Indonesia
- Israel
- Italy
- Japan
- Kazakhstan
- Korea
- Latvia
- Malaysia
- Netherlands
- New Zealand
- Mexico
- Norway
- Poland
- Portugal
- Russia
- Serbia
- Singapore
- Slovakia
- Slovenia
- South Africa
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- Taiwan
- Thailand
- Ukraine
- White Russia



Human-Technology
für Mensch, Natur
und Maschine

HUTECH

oelheld[®]
innovative fluid technology

oelheld GmbH • Ulmer Strasse 135-139 • D-70188 Stuttgart
Telefon: +49 (0) 7 11 / 1 68 63 - 0 • Fax: +49 (0) 7 11 / 1 68 63 - 40
E-Mail: hutec@oelheld.de • Internet: www.oelheld.de