

Wissenswertes zur Senkerosion



Human-Technology
für Mensch, Natur
und Maschine

HUTECH



Philipp und Martin Storr • Geschäftsführende Gesellschafter

Ihr starker Partner für Kühlschmierstoffe

Die oelheld GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen, welches auf mehr als 130 Jahre Tradition und Erfahrung zurückblickt. Seit der Gründung im Jahr 1887 durch Carl Christian Held hat sich oelheld zum etablierten Spezialisten für Schmierstoffe entwickelt. Partnerschaft, Forschung und Human Technology sind als Werte gewachsen und bilden eine Tradition, auf die wir stolz sind.

Zahlreiche Maschinenhersteller und Hochschulen entwickeln mit uns Produkte, die speziell auf die Bedürfnisse ihrer Maschinen zugeschnitten sind. Diese Zusammenarbeit ermöglicht es uns, intensiv auf die spezifischen Anforderungen unserer Kunden einzugehen und bestehende Fluids an unterschiedlichste Fertigungsprozesse anzupassen.

Unsere Laboratorien, die mit modernsten Analysegeräten und zahlreichen Prüfständen ausgerüstet sind, garantieren aktuelle Standards und erfüllen nahezu jeden Kundenwunsch.

„Innovative Produktentwicklung, gestärkt durch permanente Qualitätssicherung und umfänglichen Kundenservice, ist der Schlüssel für den Erfolg unserer Produkte.“



Human Technology

Innovationen für Mensch, Natur und Maschine

Hutec ist unser Grundgedanke für die Entwicklung und Produktion unserer Produkte. Ebenso ist es das Leitbild in unserem Umgang mit Ressourcen und bei oelheld stets gegenwärtig.

Was bedeutet das konkret?

- Anforderungen nach REACH werden erfüllt
- Hautgutachten für die meisten Produkte vorhanden
- Emissionsarme und aromatenfreie/-arme Produkte
- Schwermetallfreie Produkte
- Modernste Produktionsanlagen
- Umweltschonende Produktionsprozesse
- Produkte werden auf Verträglichkeit mit Maschinenbauteilen geprüft
- Nachhaltigkeit bei der Rohstoffauswahl
- Umweltfreundliche und ressourcenschonende Produkte





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 bestimmten, 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)

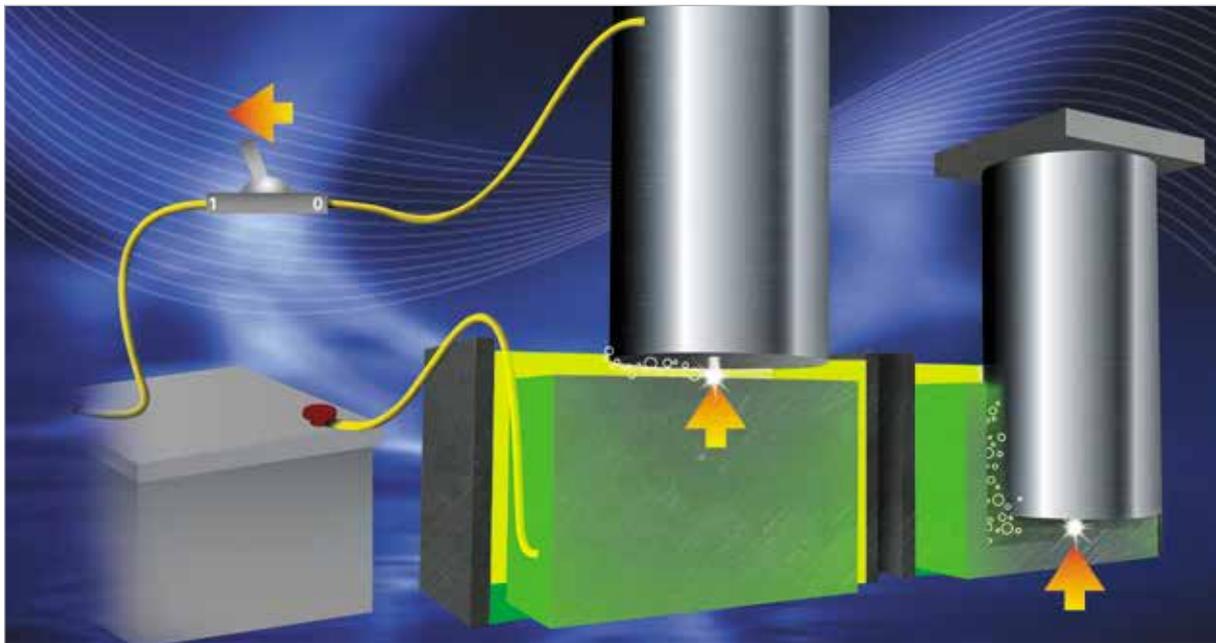


Bild 1

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 der geometrischen 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. (Bild 2)

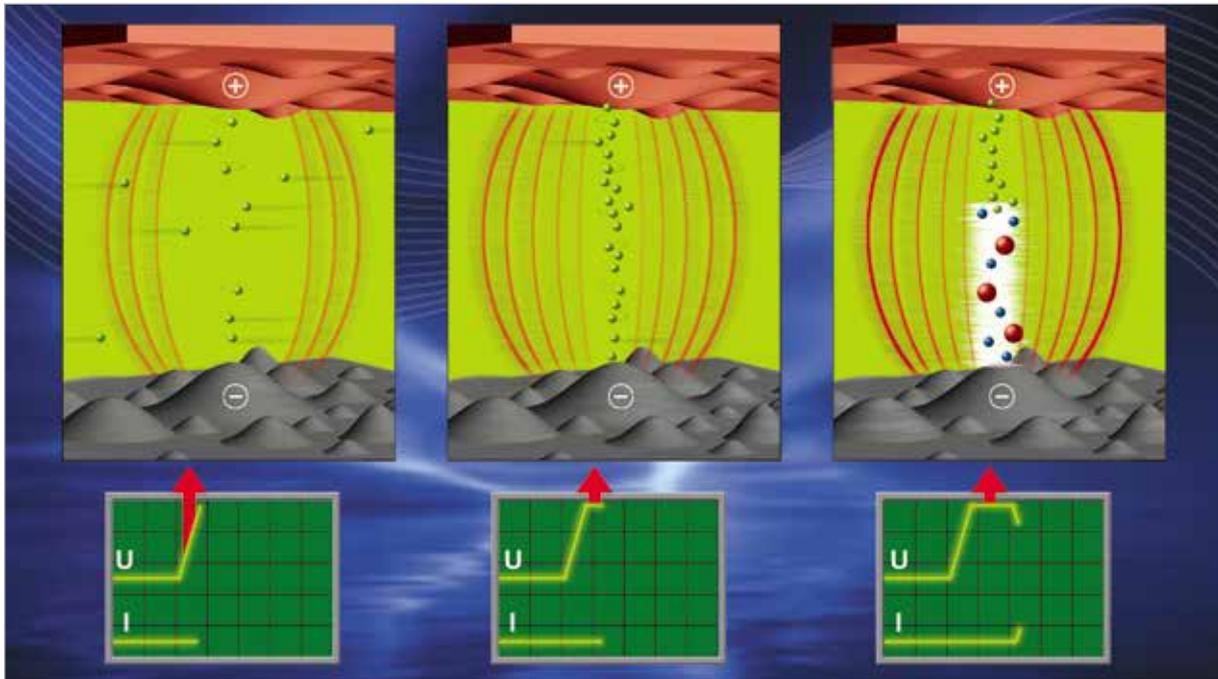


Bild 2

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 in Bild 3 sieht.

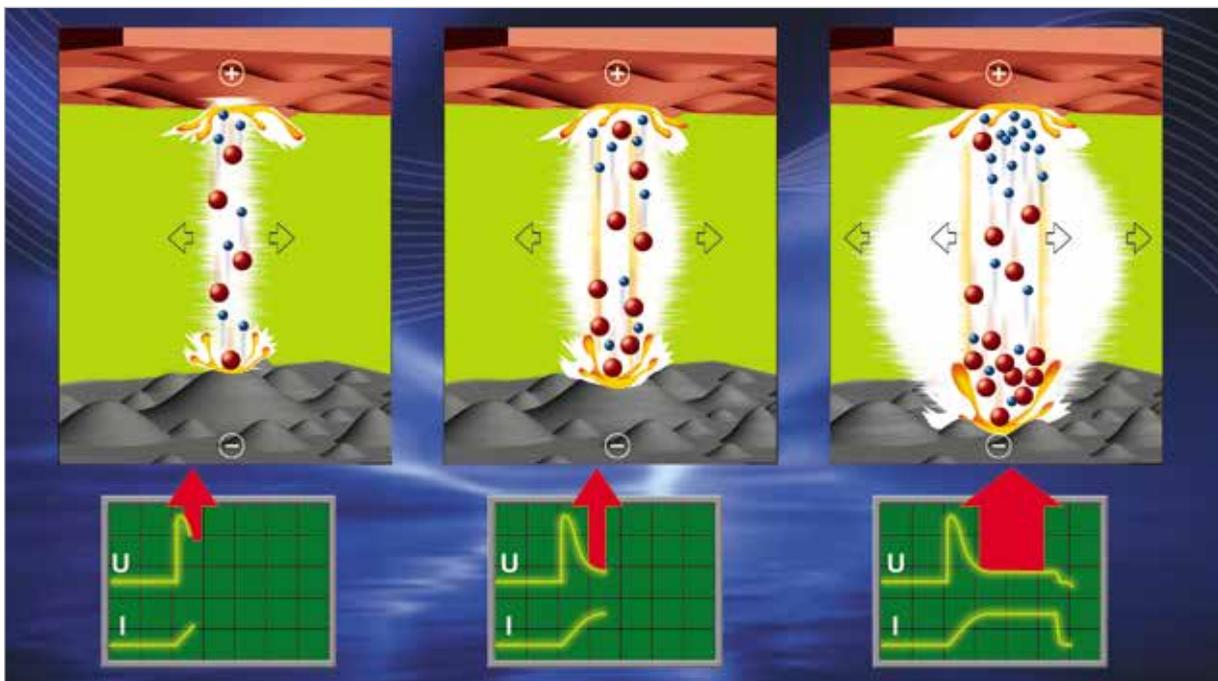


Bild 3

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 rapide 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).

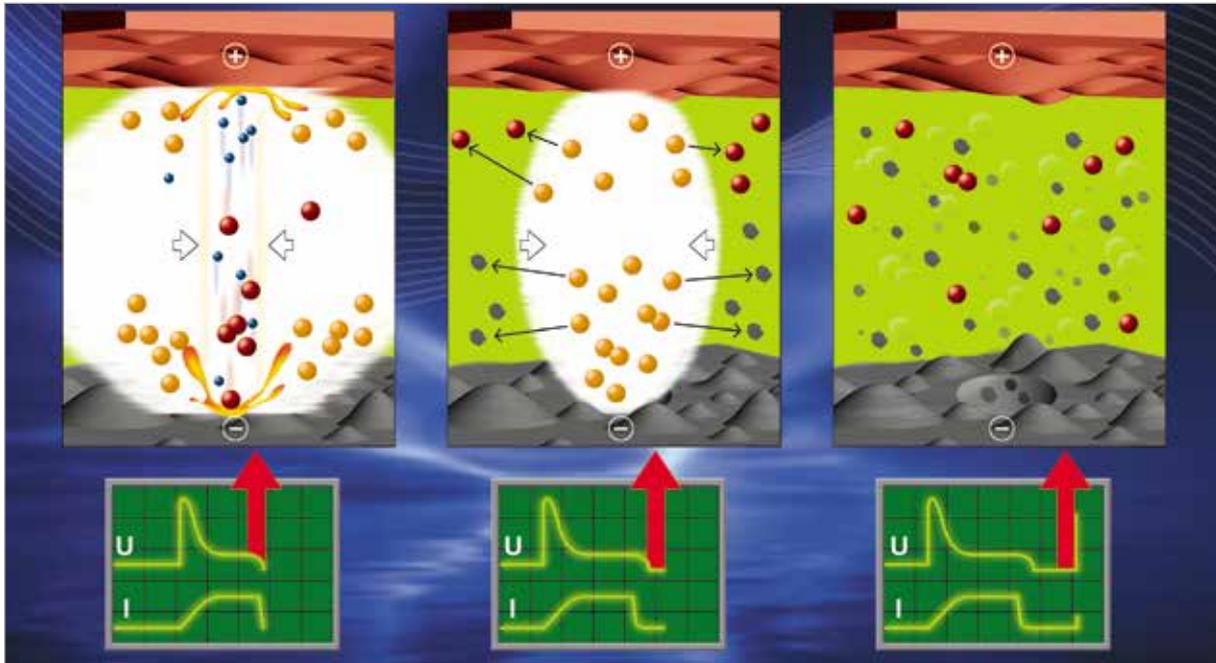


Bild 4

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 graugelb) 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).

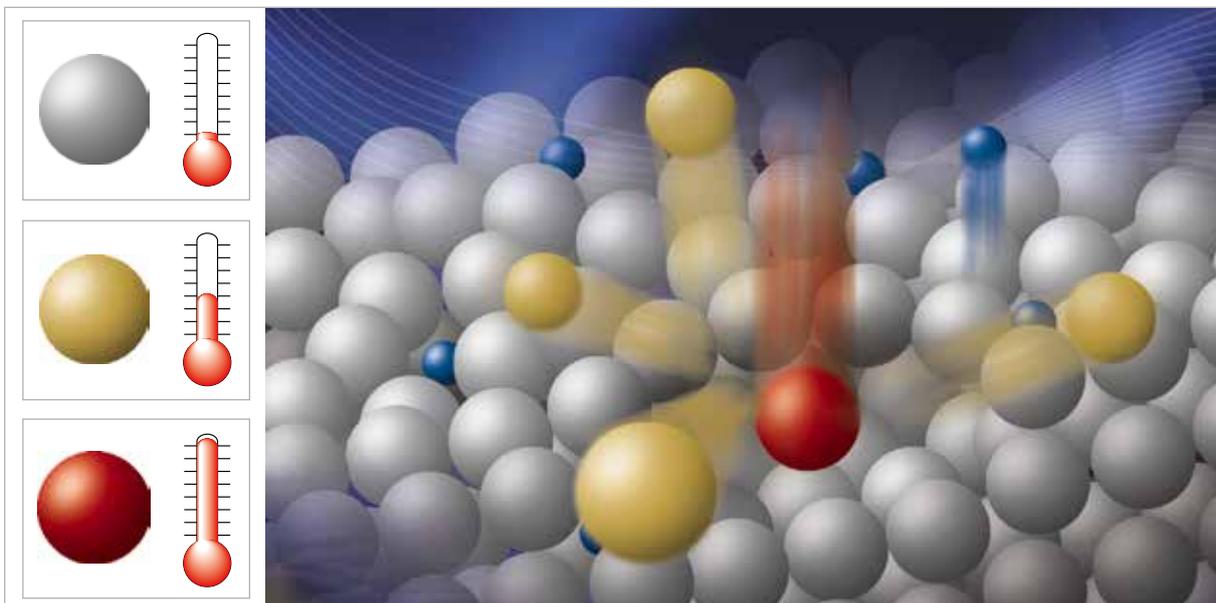


Bild 5

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

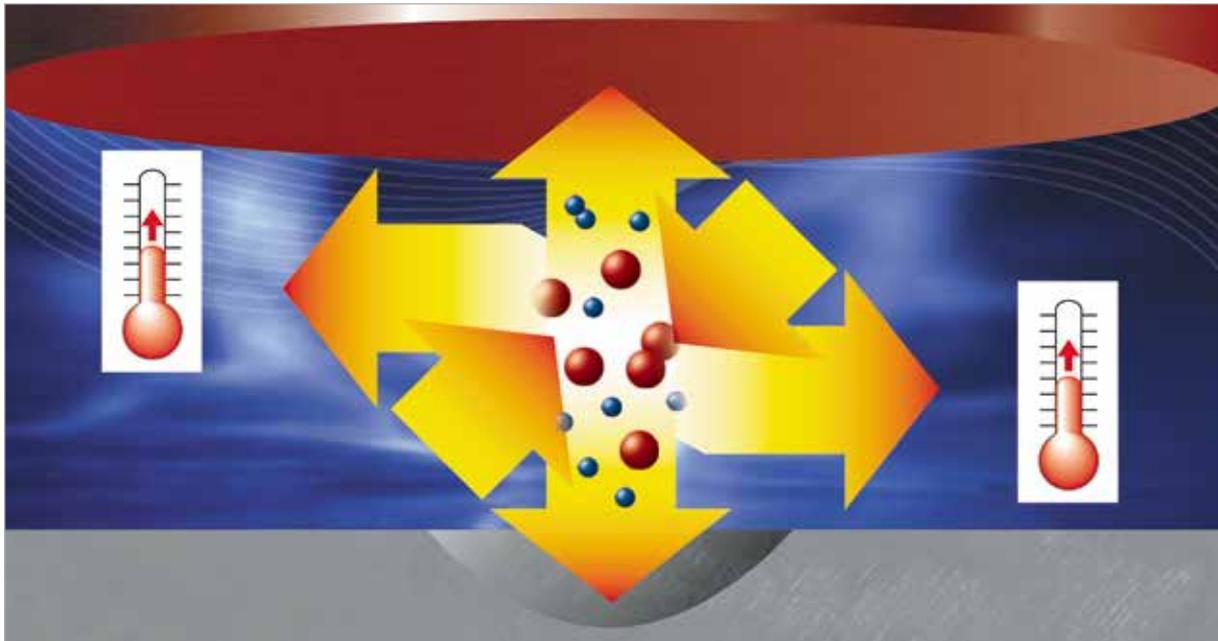


Bild 6

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 zubewegen. 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

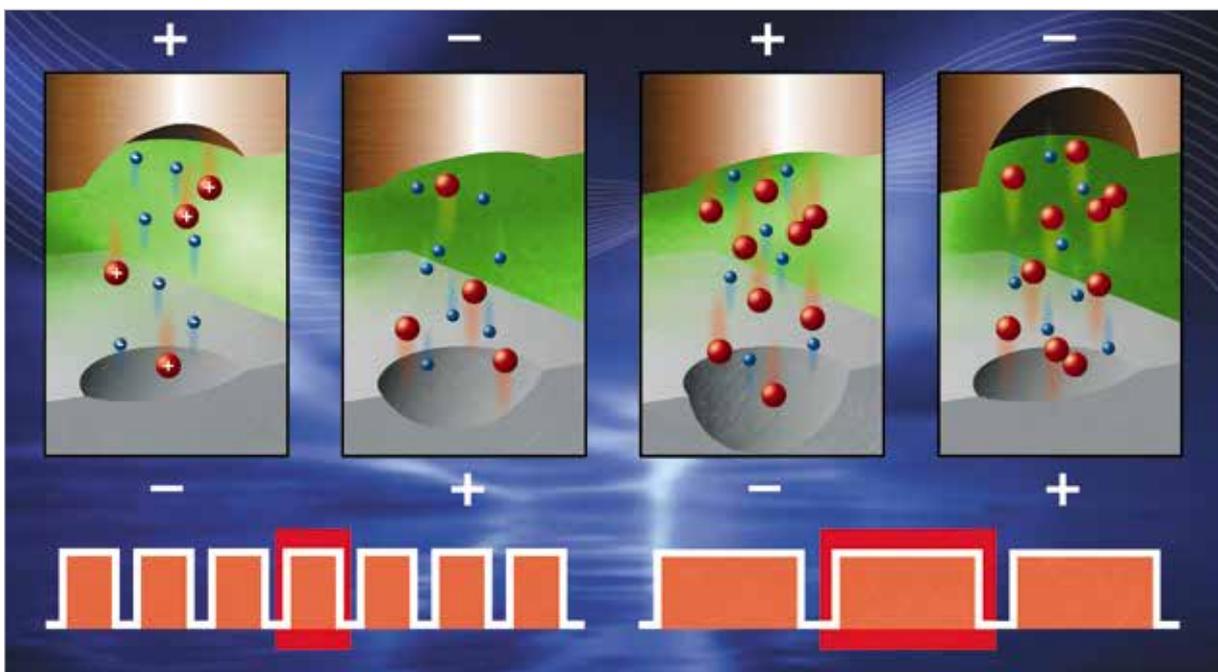


Bild 7

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 V_W 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).

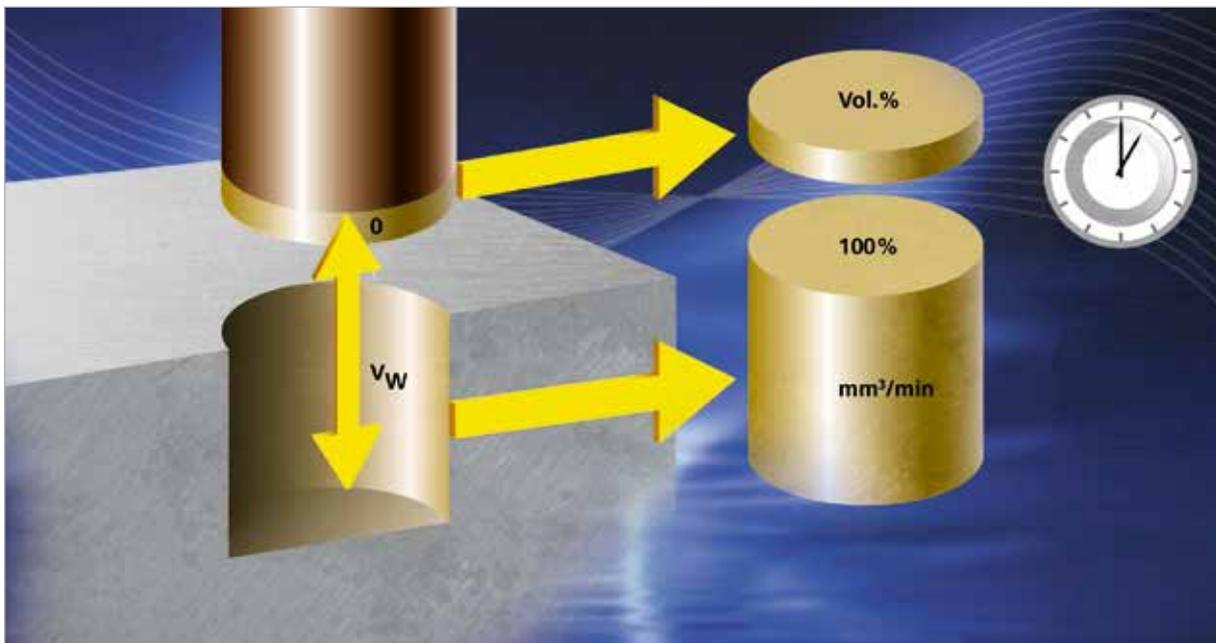


Bild 8

Die Oberflächenqualität

Ähnlich dem Bearbeiten mit konventionellen Methoden entsteht auch beim Erodieren keine voellig ebene, sondern eine leicht rauhe, 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).

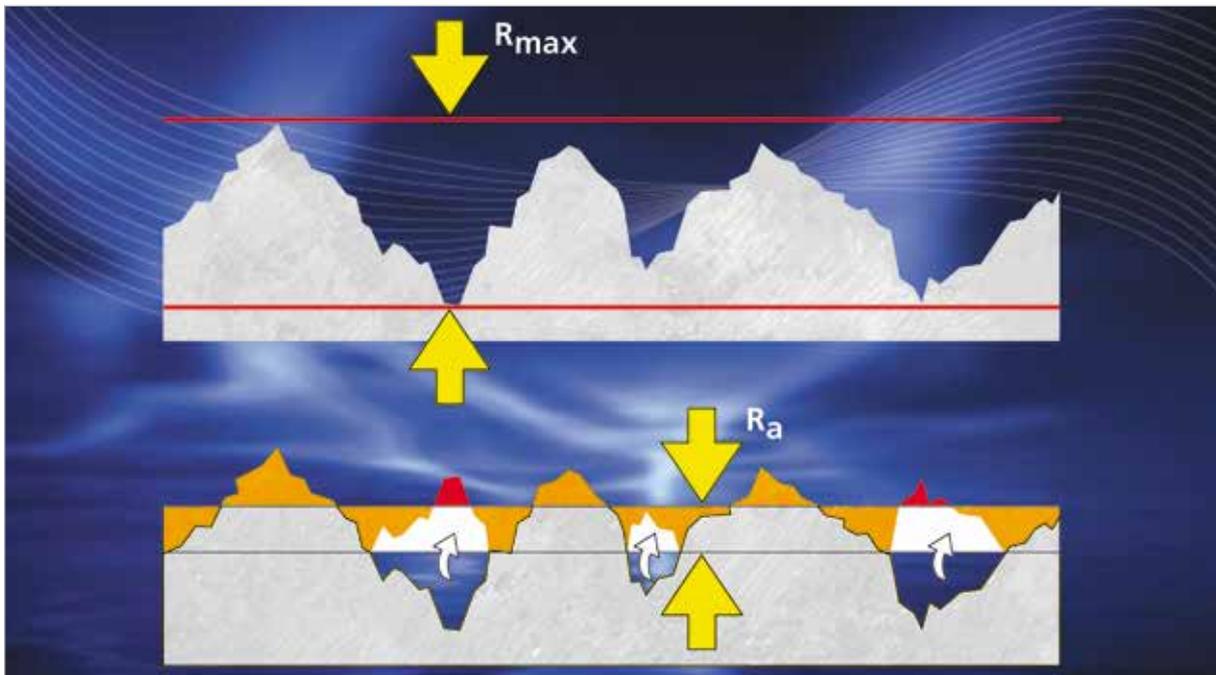


Bild 9

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

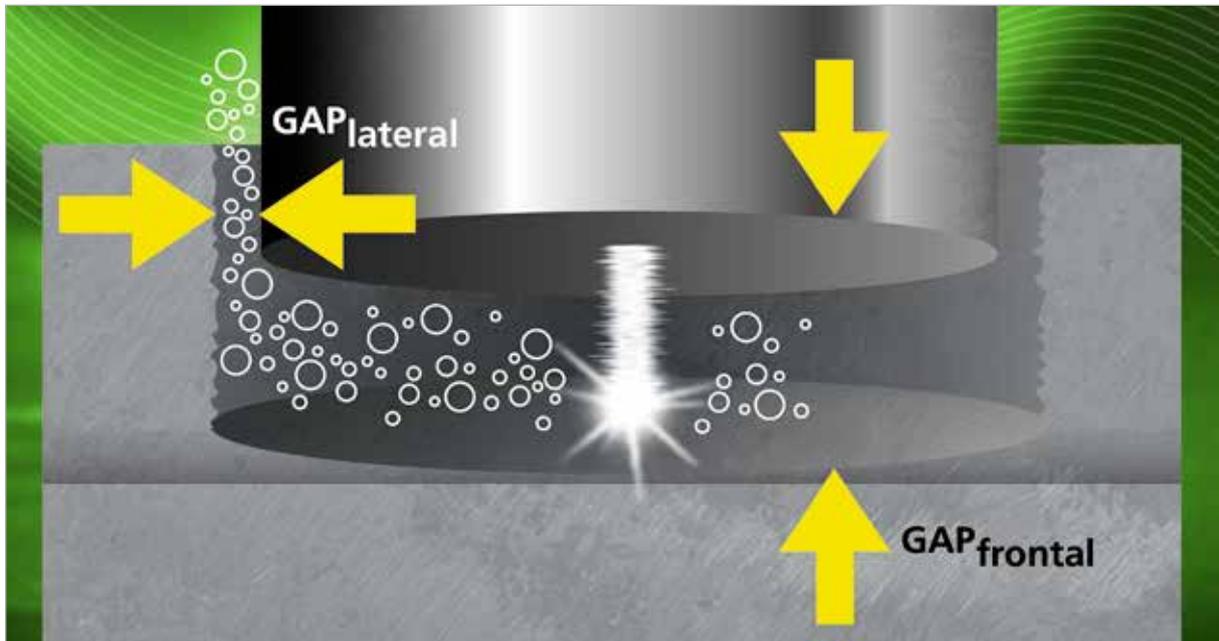


Bild 11

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).

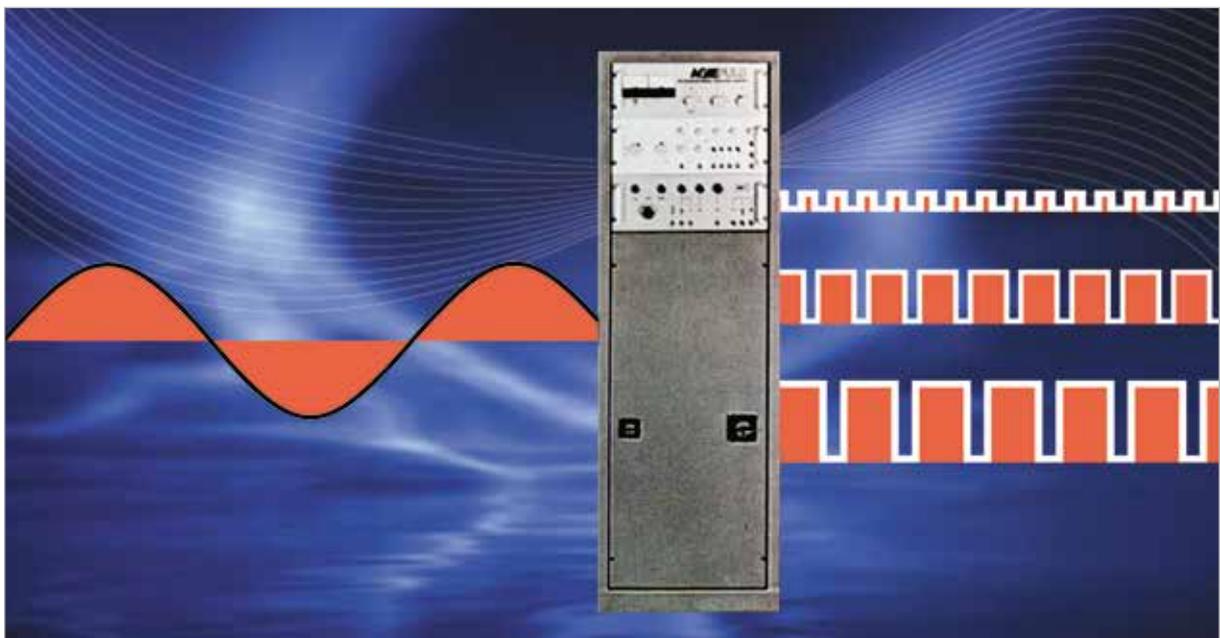


Bild 12

Die Folge der Rechtecke ist eine bildliche Darstellung der sich wiederholenden Schalteröffnungs- 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 der Impulsdauer hingegen, wird mit dem millionsten Teil einer Sekunde in Mikrosekunden gemessen. 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).

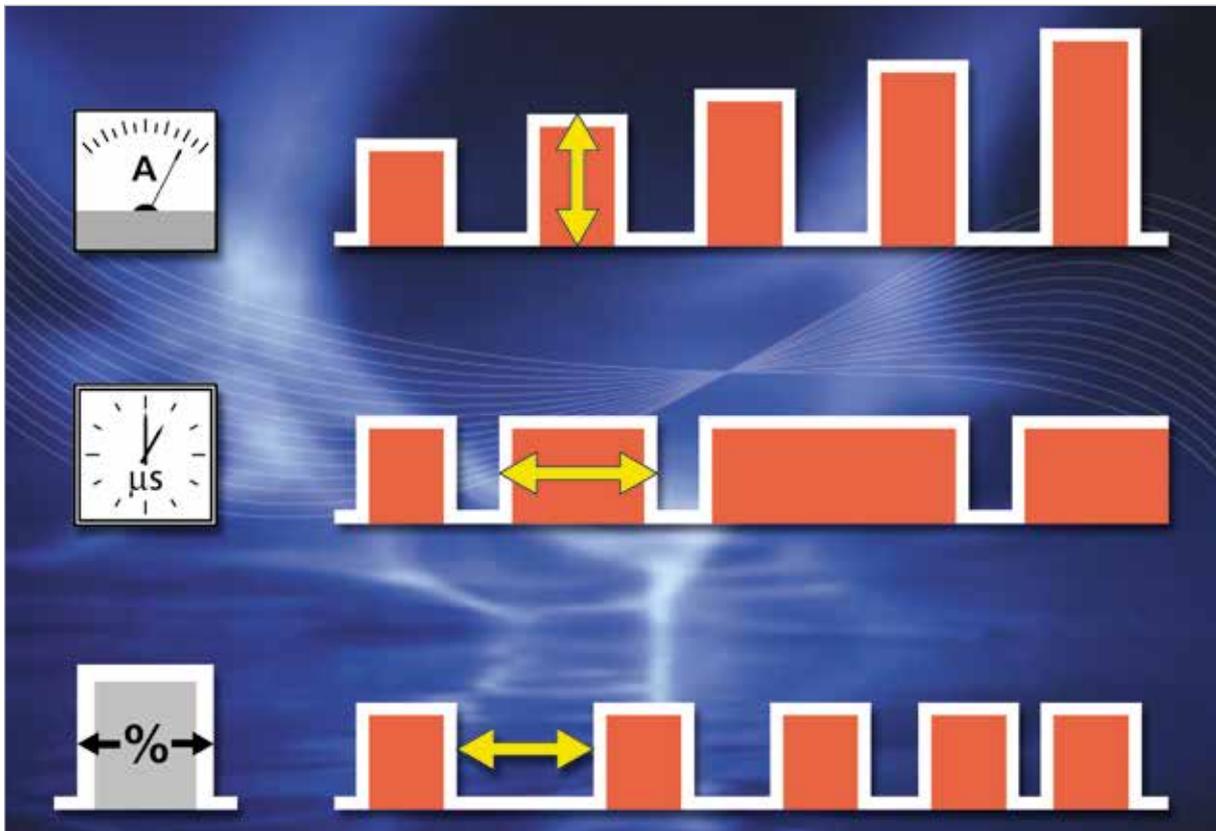


Bild 13

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).

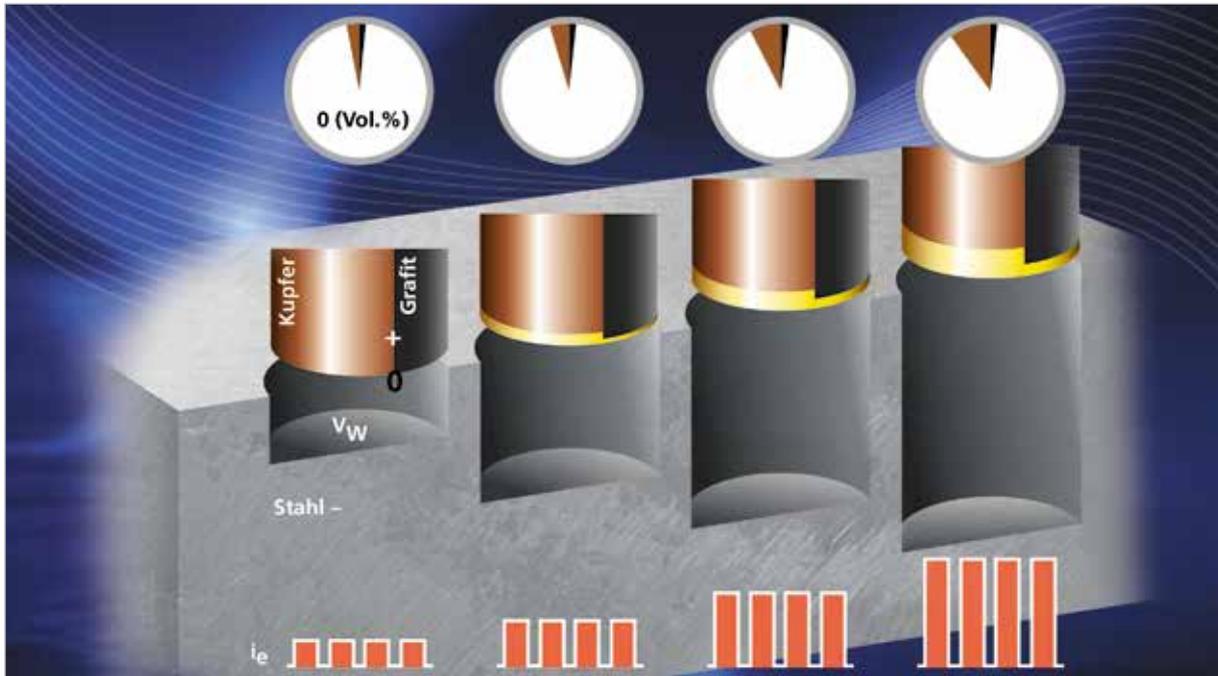


Bild 14

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 Abtragsmaximum und dem Verschleißminimum liegt (Bild 15).

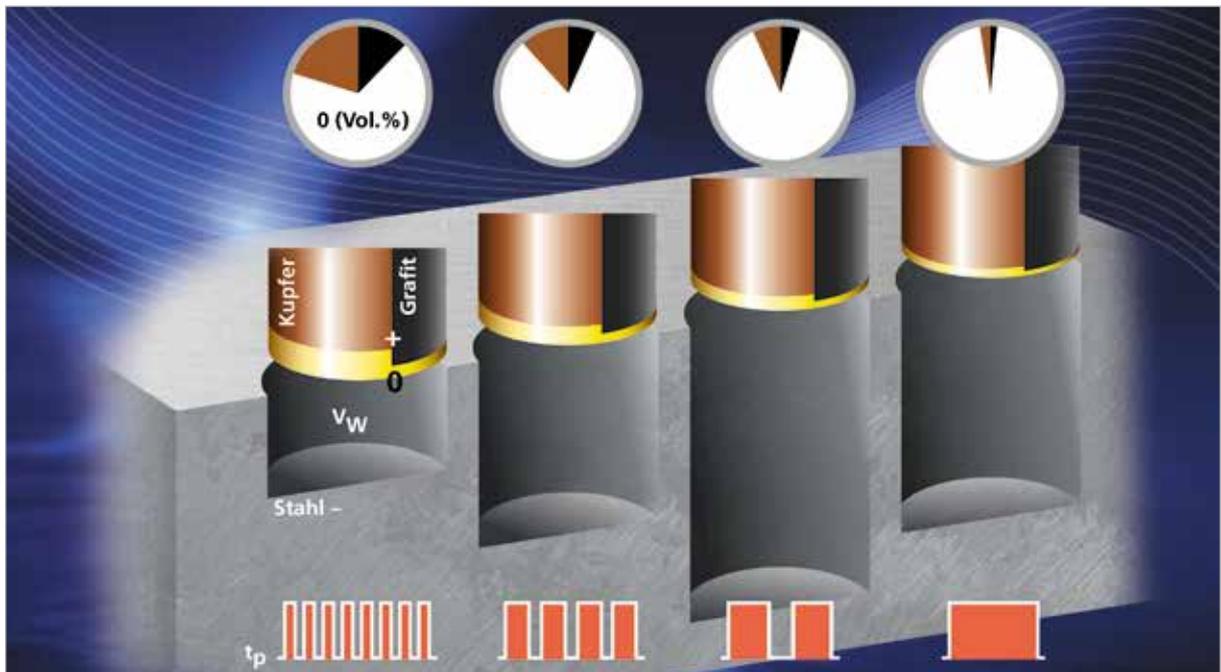


Bild 15

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. bei 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).

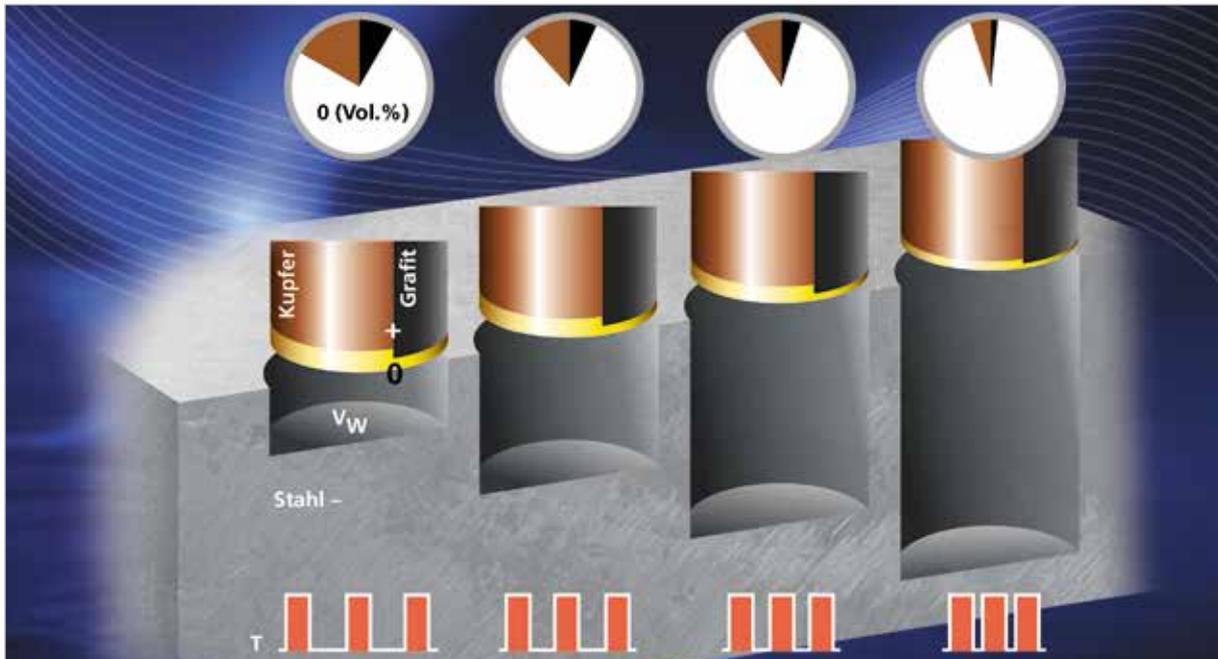


Bild 16

Der Stromimpuls

Dass die Entladeenergie, im Bild die Fläche eines Stromimpulses, auf die Rauheit der Oberfläche und die Größe des Funkenpalt (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).

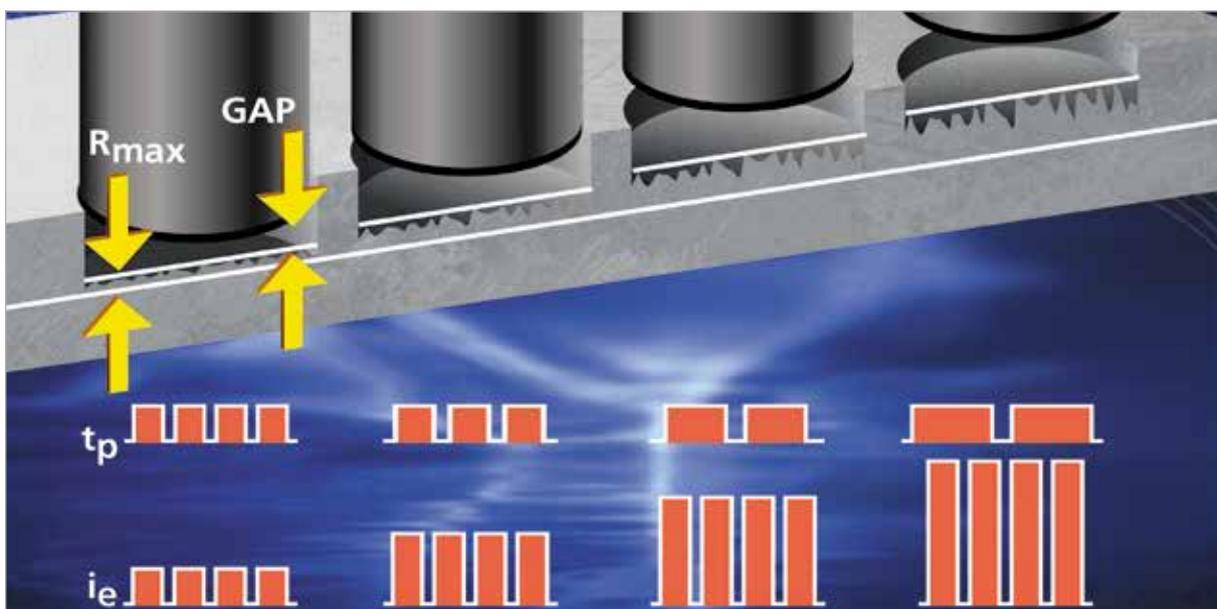


Bild 17

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).

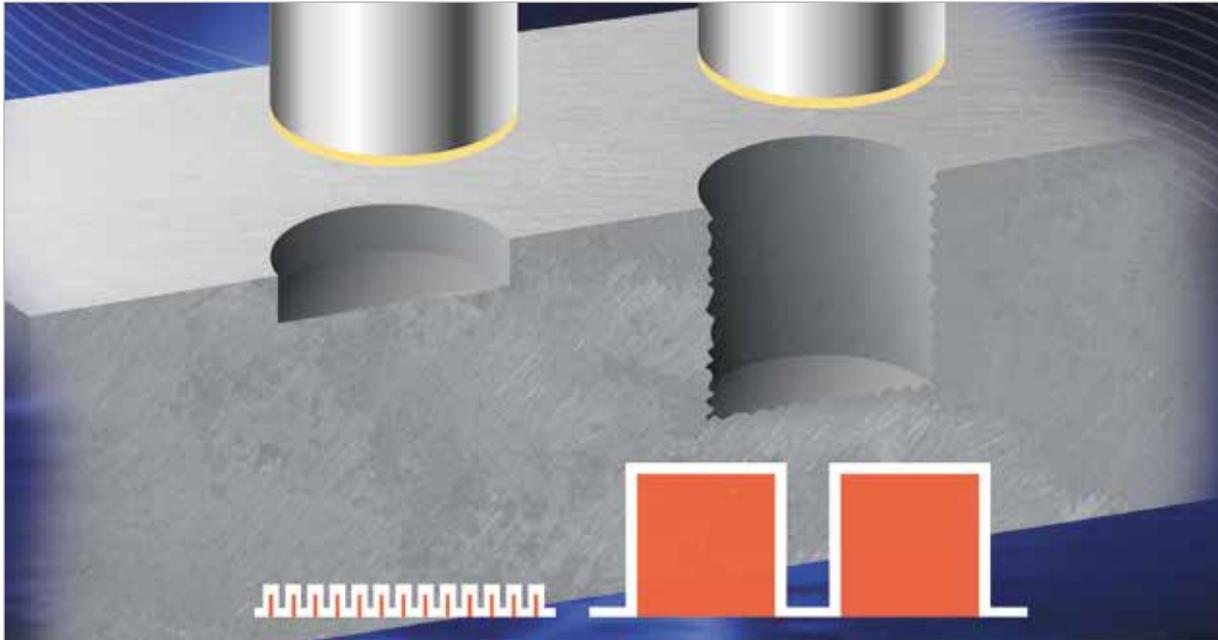


Bild 18

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).

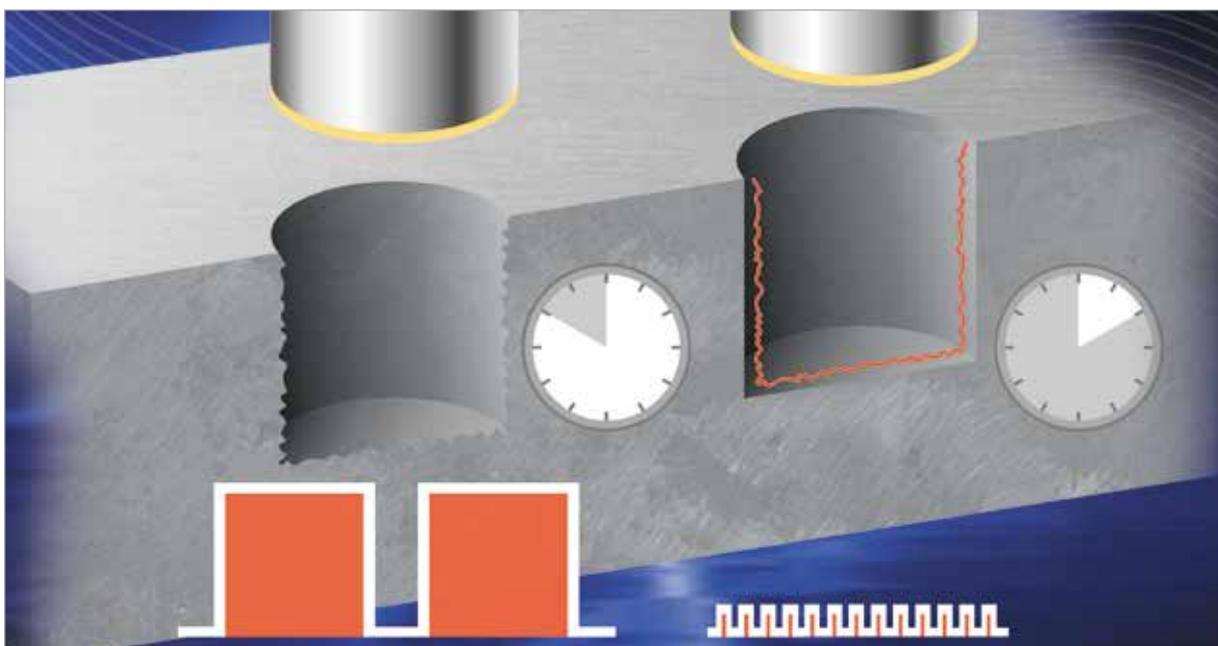


Bild 19

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 Mineraloelbasis beachtliche Vorteile brachten. Die Durchschlagsfestigkeit war größer. Es konnten kleinere Funkenpalte gewählt werden, die eine höhere Abbildungsgenauigkeit ermöglichten. Die Funkenfolge konnte gesteigert werden und der Metallabtrag ließ sich mühelos abtransportieren. Ohne Flüssigkeiten auf Mineraloelbasis wäre eine industrielle Anwendung der Funkenerosion nicht möglich geworden. Zunächst wurden petrolumhaltige Produkte und Produkte auf Testbenzinbasis, z.B. Kristalloel, eingesetzt.

	Petroleum	Testbenzin (Kristalloel 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 Mineraloelindustrie 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 Syntheseofen 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 Mineralölenprodukten, die aus bestimmten Mineralöelfraktionen durch Raffination hergestellt werden, weit überlegen.

5. Beurteilungskriterien für Dielektrika

Folgende Beurteilungskriterien gelten heute für dielektrische Arbeitsflüssigkeiten:

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

Toxizität (Giftigkeit)

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 Krebsregenern gezählt werden.

Rauchbildung

Die Rauchbildung beim Erodieren wird durch die verschiedenen 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 geruchlos sein und auch bei Erwärmung keinen Geruch verursachen. Nach längerem Arbeiten mit dem Dielektrikum ist ein leichter Ozongeruch, der auf die elektrischen Entladungen zurückzuführen ist, üblich. Oft deutet auch ein saurer, stechender Geruch darauf hin, dass das Dielektrikum ausgetauscht werden sollte.

Flammpunkt

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-Luft-Gemisch 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, Heizoel-EL

Die VbF (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten) wurde in Deutschland durch die Betriebssicherheitsverordnung am 02.10.2002 ersetzt, wird hier aber noch angegeben, da die VbF-Gefahrenklassen noch allseits bekannt sind und verwendet werden. 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 Schruppbereich, 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 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 Schrupparbeiten 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 Schrupparbeiten 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).

Empfohlene Viskosität in Funktion von Rmax

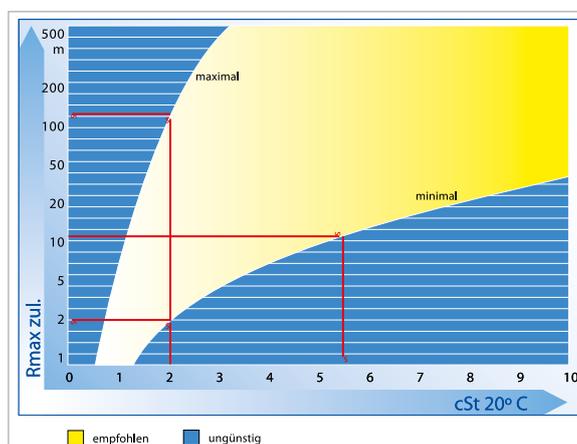


Bild 1

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. 2×10^{-14} Ohm \times 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 Funkenerosion geeignetes Dielektrikum sollte eine Dielektrizitätskonstante von 2 – 2,5 aufweisen.

Stromstärke

In Abhängigkeit des eingesetzten oelheld-Dielektrikums können Stromstärken von bis zu 1.200 Ampere realisiert werden.

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 Verunreinigungen 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-Leistungs-Verhältnis. Bei normalem Erodierbetrieb kann das Dielektrikum bei idealer Filtration langfristig eingesetzt werden. Beim Gebrauch in Mikrofilteranlagen sind heute bereits Einsatzzeiten von bis zu 25 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 Infrarotspektralanalyse 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. 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 voellig 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.

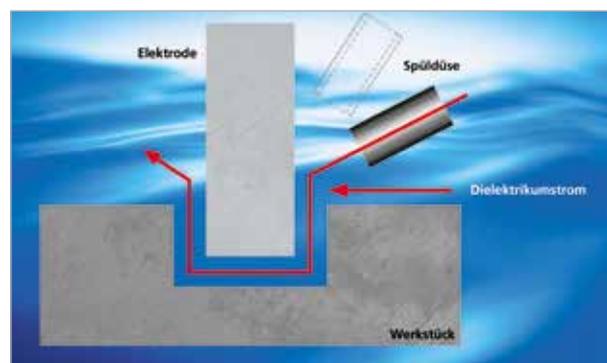


Bild 1: Offene Spülung

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.

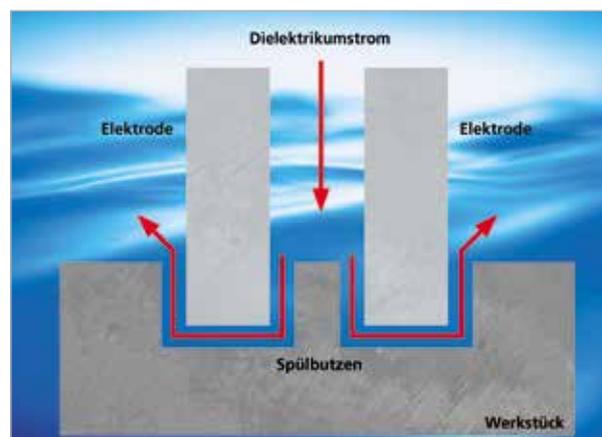


Bild 2: Druckspülung durch die Elektrode

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.

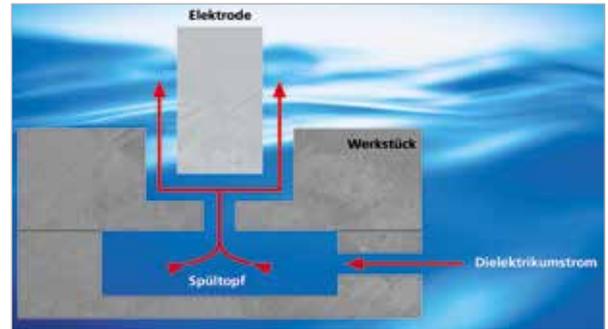


Bild 3: Druckspülung durch das Werkstück

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.

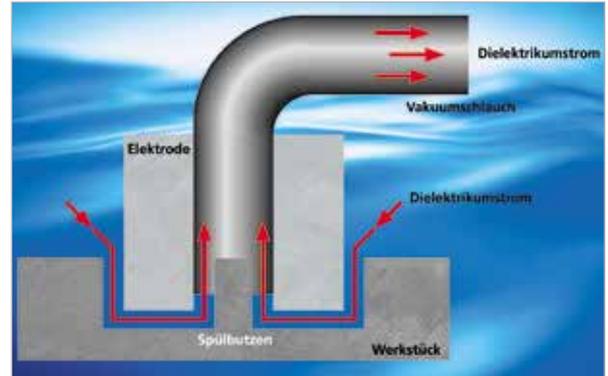


Bild 4: Saugspülung durch die Elektrode

Kombinierte Spülung

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

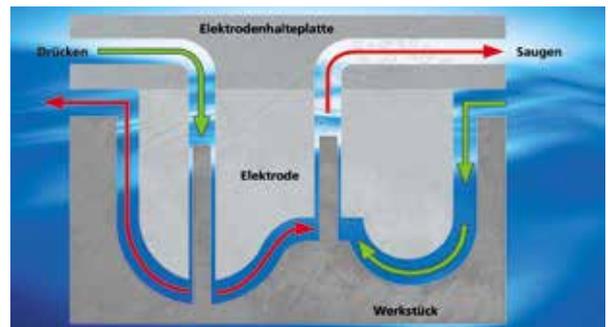


Bild 5: Kombinierte Spülung

Intervallspülung

Bei der Intervallspülung wird der Erodiervorgang nach einer bestimmten Zeit unterbrochen und die Elektrode zurückgefahren. Dadurch wird die Ausspülung der Abtragspartikel verbessert. Die Rückzugs- bzw. Zustellbewegung der Elektrode hat einen zusätzlichen Saug- bzw. Pumpeffekt, der die Spülwirkung 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 Filtrerrückstandes.

Patronenfilteranlage (Bild 1)

In der Praxis haben sich heute für die Filtration des Dielektrikums bei kleineren Funkenerosionsanlagen bis ca. 450 mm² pro Minute Abtragleistung 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 kann bei normalem Betrieb in Papierfilteranlagen ca. 1 – 2 Jahre eingesetzt werden.

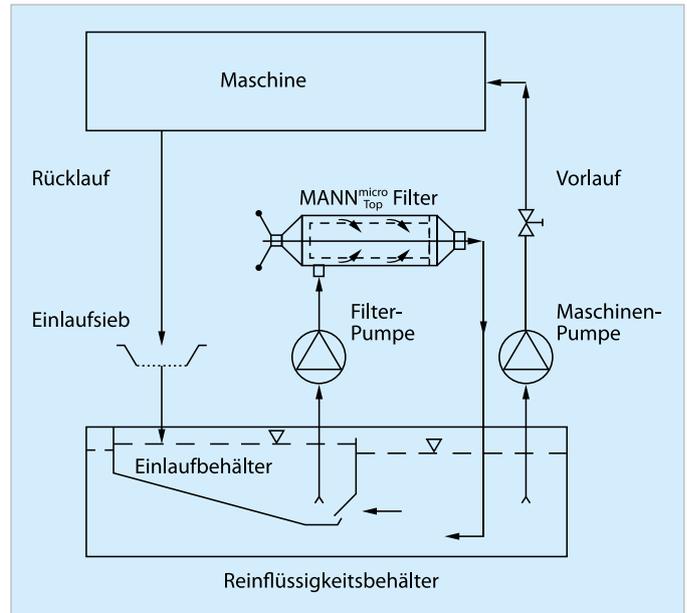


Bild 1

Anschwemmfilteranlagen (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 Filterkreislaufbetrieb 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 Nachfilter 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, bevor zurückgespült werden muss. Mit Anschwemmfilteranlagen lassen sich Filterfeinheiten bis 1 µm erzielen. Im Durchschnitt werden beim Anschwemmvorgang 1 kg Kieselgur bzw. 0,5 kg Rixid für 1 m² Filterfläche benötigt. Die Restfeuchte eines aus einer Anschwemmanlage ausgestoßenen Trockenschlammkuchens liegt je nach Dielektrikum bei ca. 10–30 Gewichtsprozent.

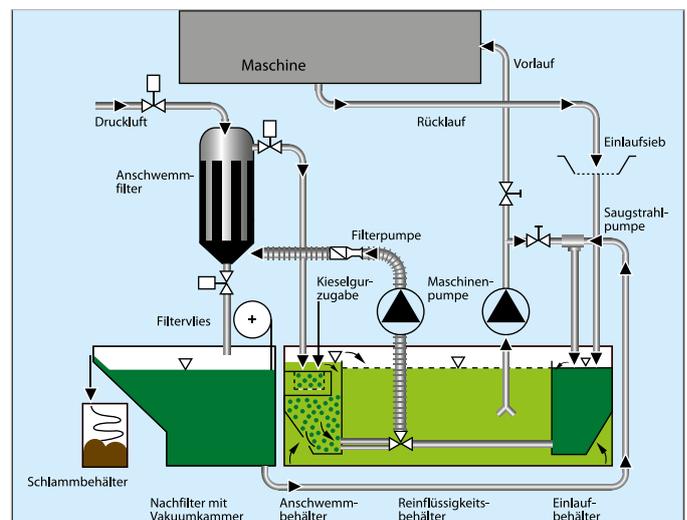


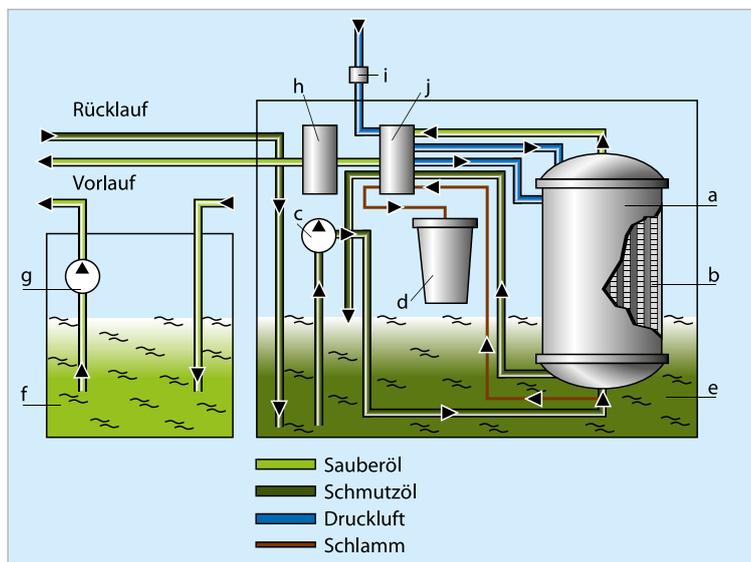
Bild 2

Die Standzeit des Dielektrikums in Anschwemmanlagen 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 Anschwemmanlagen vor, bei denen vor ca. 20 Jahren Dielektrikum IME eingefüllt wurde, das heute noch voll funktionsfähig ist. Lediglich Austrags- und 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 µm 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 µm sind, auf der Oberfläche der Filterstäbe ablagern. Sind die Filterstäbe verschmutzt, so erfolgt ein Rückspülungsprozess, bei dem bereits filtriertes 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 cSt bei 20° 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) Oelluftkühler
- 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. 10.000° C), dass der Werkstoff verdampft. Im Dielektrikum kondensieren diese Metalldämpfe 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.

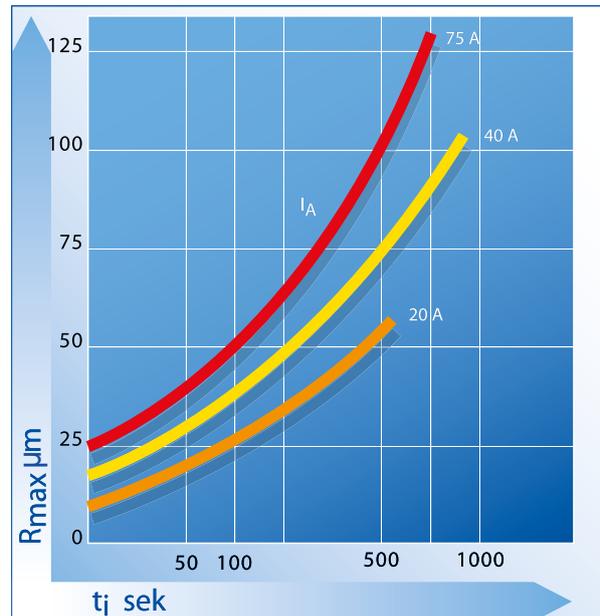


Abb. 1.
Abhängigkeit der Oberflächenrauheit von der Brennzeit.

Elektrodenverschleiß bezogener Wert

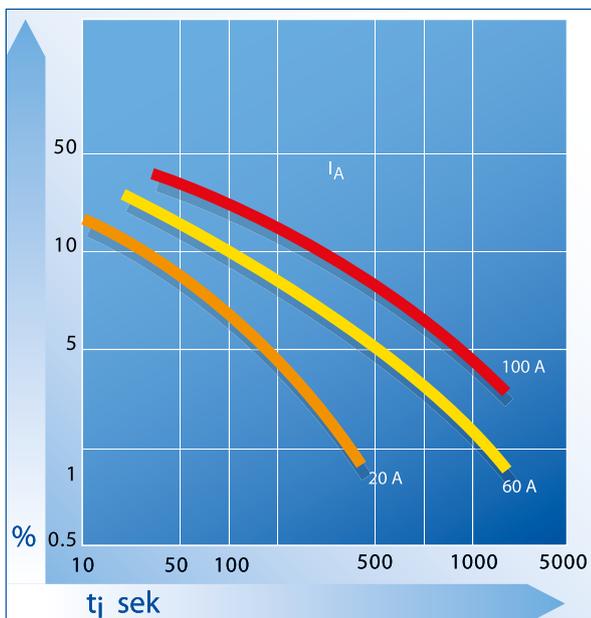


Abb. 2.
Abhängigkeit des Elektrodenverschleißes von der Brennzeit.

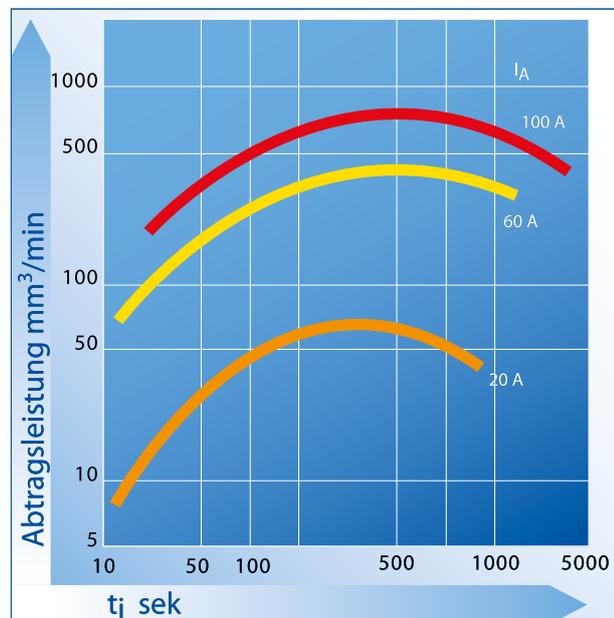


Abb. 3.
Abhängigkeit der Abtragsleistung von der Brennzeit.

Neben Abtragleistung, 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.

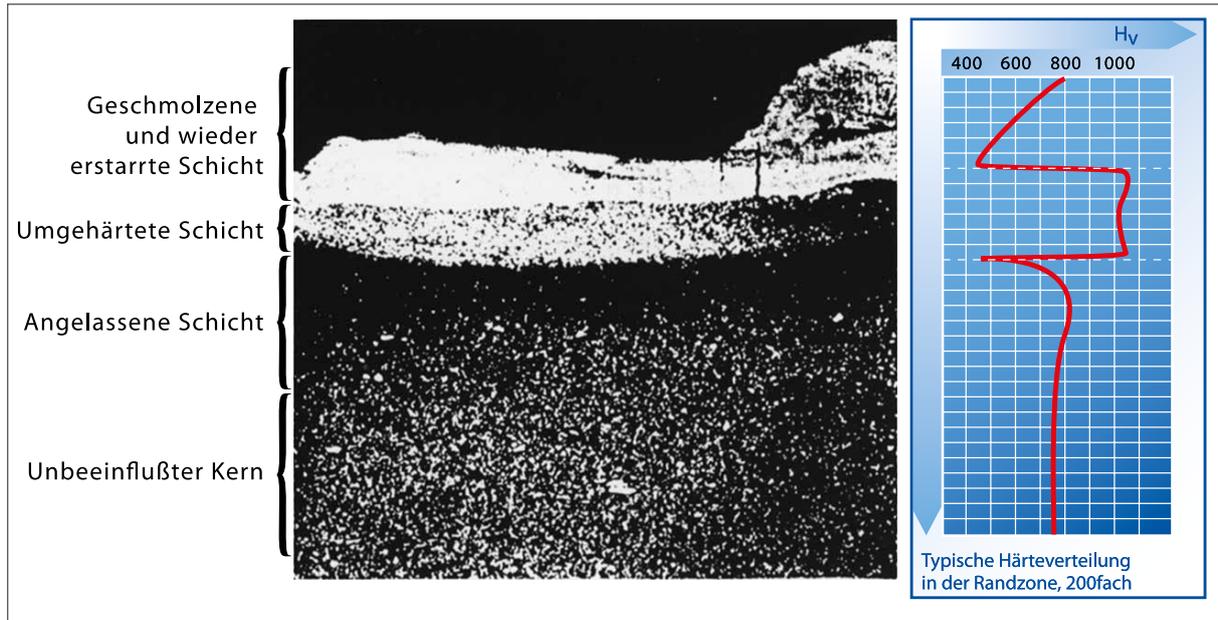


Abb. 4.
Schnitt durch eine funkenerosiv bearbeitete Oberfläche mit Gefügeänderungen. Werkstoff: UHB Rigor, auf 57 HRC gehärtet.

Die **geschmolzene Schicht** (Bild 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 normalen Schruppen eine Dicke von etwa 15 - 30 µm. In der darunterliegenden, **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. 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 geblühten Werkstoff sind die Zonen dünner und die Risse seltener.

Die spröde gehärtete Zone kommt dabei kaum vor (Abb. 6 a+b). In den Schruppstufen variieren die Schichtdicken bedeutend mehr als in den Feinschlichtstufen. 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 mit 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 Risttiefe selten größer als ca. 10 µm. Diese Risse im Kern treten hauptsächlich bei den hochlegierten Kaltarbeitsstählen und hochlegierten Schnellarbeitsstählen auf.

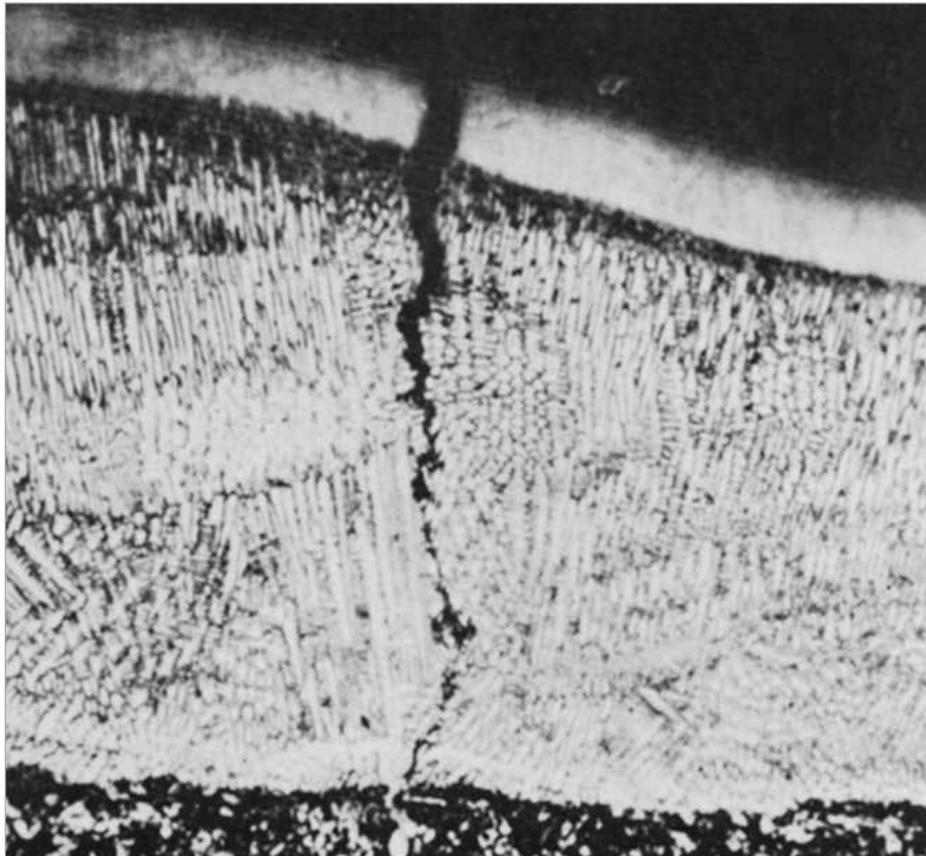


Bild 5

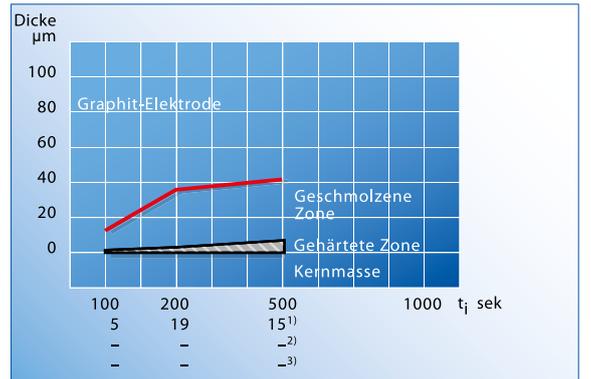
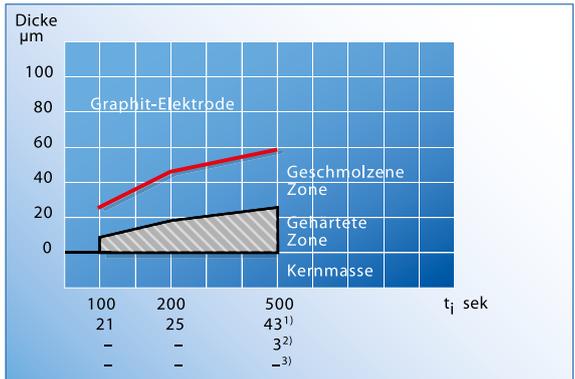
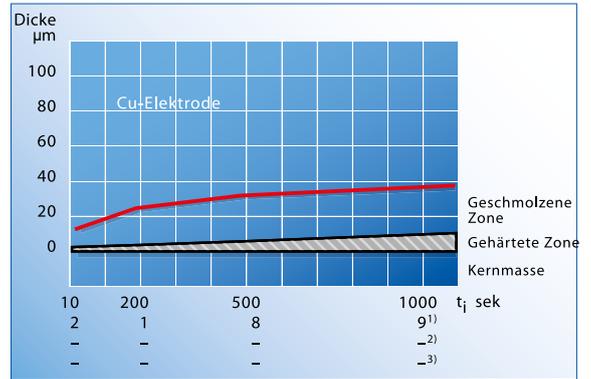
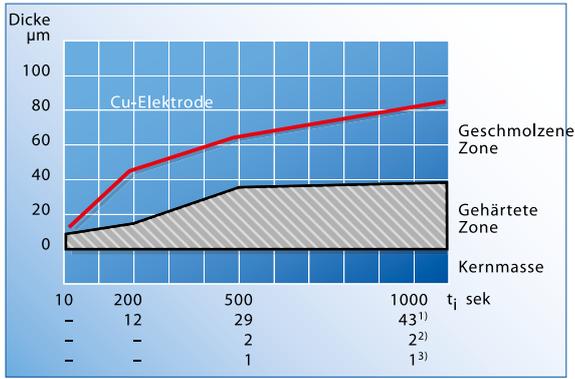


Abb. 6a. Schichtdicken und Rissfrequenzen in der Randzone bei funkenerosiver Bearbeitung von gehärtetem (52 HRC) UHB Orvar 2 Microdized bei verschiedenen Brennzeiten.

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

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

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 Schlichten nicht möglich ist, kann man folgende Bearbeitung anschließen:

- a) **Spannungsfrei anlassen** bei etwa 15° C niedrigerer Anlasstemperatur als früher. Dies senkt die Oberflächenhärte, ohne dass der Kern beeinflusst wird.
- b) **Weichglühen** und erneutes Härten und Anlassen führt zu einer fast vollständigen Wiederherstellung des Gefüges (bestehende Risse bleiben erhalten).
- c) **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

Jeder erfahrene Bediener einer Funkenerosionsmaschine wird mit dem Phänomen konfrontiert, dass er mit gebrauchtem Dielektrikum bessere Arbeitsergebnisse erzielt als mit einem gerade neu eingefülltem. 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 überwie-

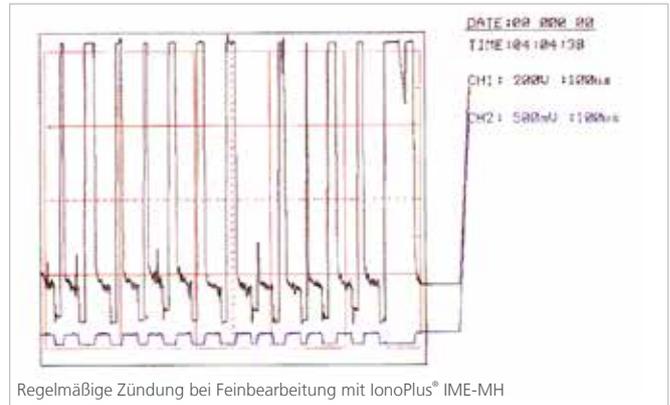
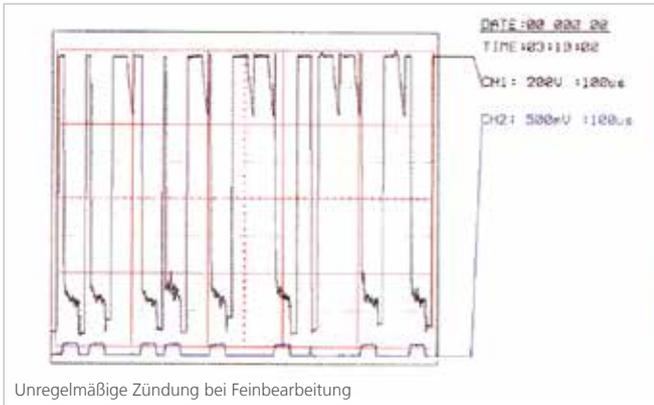
gend von den feinstverteilten Satellitenelektroden angezogen und entlang vielfach verzweigter Entladungskanäle weitergeleitet. Da sie bei diesem Vorgang einen Teil ihrer kinetischen Energie verlieren, treffen sie mit einer verhältnismäßig geringen Energie auf die Anode auf. Durch den steilen Anstieg 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 Polierrodieren (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 µm 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 Funkenerosionsprozess entstehenden Schmutzpartikel werden explosionsartig feinstverteilt aus der Arbeitszone geschleudert. Dies reduziert die Kurzschlussneigung und führt zu einem ruhigen Ablauf des Funkenerosionsprozesses. 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



Durchschlagende Vorteile für den Funkenerosionsprozess:

Das erste Dielektrikum mit dem Plus an Satellitenelektroden

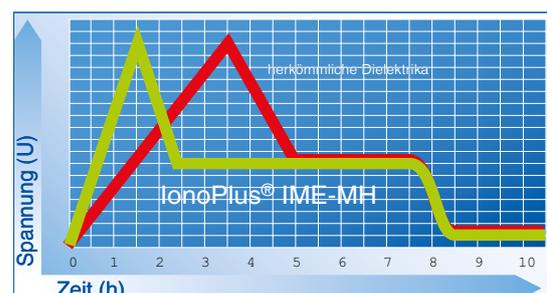
Nach langjähriger Forschung stellt oeheld eine völlig neue „durchschlagende“ Dielektrikumskonzeption vor: **IonoPlus® IME-MH**. Im Gegensatz zu konventionellen Mineraloelraffinaten wird hier eine Kombination hochreiner Syntheseprodukte durch ein spezielles Blendingverfahren mit Satellitenelektroden angereichert.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

IonoPlus® IME MH Dielektrikum ist für alle gebräuchlichen Filteranlagen geeignet. **IonoPlus® IME MH** Dielektrikum ist für alle gebräuchlichen Filteranlagen geeignet.

Vorteile

- **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.
- **Optimale Dispergiervermögen**
„Blitzartiges“ Dispergieren der Schmutzpartikel wirkt aktiv der Brennstellenbildung entgegen.

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 2719
Aromatengehalt (Gew. %)	0,01	DIN 51378



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 Weißbohle und sind praktisch aromatenfrei.

Die Dielektrika der IME-Reihe wurden in umfangreichen Versuchsreihen getestet und sind jahrzehntelang erprobt. Sie werden von den führenden Herstellern von Funkerosionsanlagen ausdrücklich empfohlen. Ob bei Schrumparbeiten oder beim Einsatz im Feinstschlichtbereich, das Dielektrikum muss jedem Anwendungsfall mit seinen spezifischen Anforderungen gerecht werden. Die Hochleistungs-Dielektrika für den Einsatz zur funkerosiven Bearbeitung sind auf synthetischer Basis hergestellt und mit Alterungsinhibitoren additiviert.

DIELEKTRIKUM IME 63

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

DIELEKTRIKUM IME 82

Dielektrikum IME 82 ist ein abtragsintensives und verschleißarmes 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 Schlichtarbeiten 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 Schlichtbereich 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	keine	keine	keine	keine
Stoffkennzahl	keine	keine	keine	keine
GGVSee IMDG-Code	keine	keine	keine	keine
IATA-RAR				
Artikel-Nr.	keine	keine	keine	keine
Klasse	keine	keine	keine	keine

Verschiedene 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. (µm)	60	10
Bearbeitungszeit (Min.)	15	60
Elektrodenform rund ø (mm)	35	25
Leerlaufspannung (V)	100	100
mittlere Arbeitsspannung (V)	28	28-30
mittlerer Impulsstrom (A)	36	6
Impulsdauer t; (µsec)	200	10
Pausendauer(µsec)	12	2,6
Spülbohrung ø (mm)	7	5
<p>V_w (mm³/min) = Abtragsleistung</p> <p>$V\%$ = Elektrodenverschleiß als Verhältniszahl in Prozent, wieviel Materialvolumen an der Elektrode als Verschleiß gegenüber dem am Werkstück abgetragenen Volumen verlorengegangen ist.</p>		

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 µsek

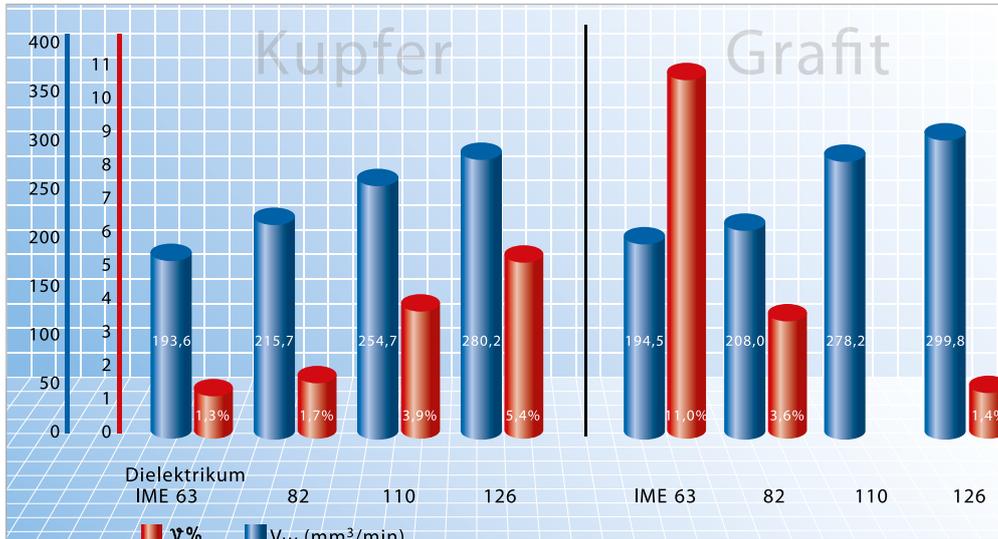


Bild 1

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 n 2 Tr./10 µsek

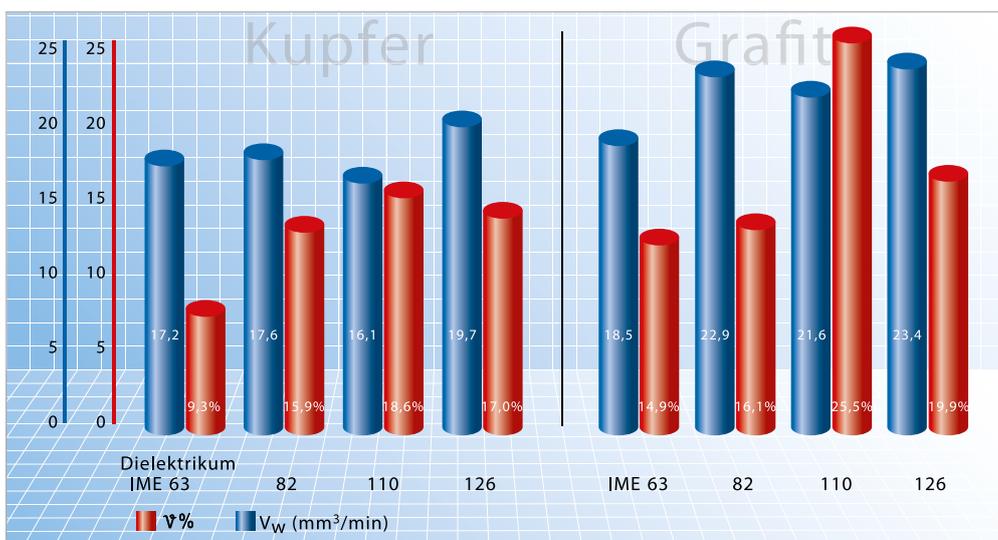


Bild 2

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 Funkenerosion

Die beim Erodieren entstehenden Dämpfe setzen sich aus Dämpfen des Dielektrikums und aus Metaldämpfen zusammen. Ein besonderes Augenmerk ist auf die entstehenden Metaldämpfe (z. B. Wolframcarbid, Titancarbid, Chrom, Nickel, Molybdän) zu richten. Wichtig ist, dass die Erodierstelle möglichst hoch mit Dielektrikum überdeckt ist, damit der größte Teil der Metaldämpfe und der Dielektrikumdämpfe im Dielektrikum kondensieren kann. Die VDI-Richtlinie 3402 fordert eine Überdeckung der Erodierstelle von 40 mm. Aus gesundheitlichen Gründen ist jedoch eine Überdeckung von mindestens 50 mm empfehlenswert. Bei den aus dem Dielektrikum aufsteigenden Metaldämpfen besteht 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

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 Sekundärschädigungen vermieden. Bei hautempfindlichen bzw. zu Allergien neigenden Personen ist eine Vorhersage des Verhaltens generell sehr schwer. Negativ auf die Haut wirken sich die im verschmutzten Dielektrikum schwebenden Abtragspartikel aus. Es handelt sich dabei um mikrofeine hohle Metallkügelchen, die an einer Seite offen sind und sehr scharfe Schneidkanten besitzen. Diese Kügelchen verletzen sehr leicht die Oberhaut, so dass es dann zu Hautschäden kommen kann. Eine weitere Sensibilisierung der Oberhaut kann im Alltag durch Putzmittel und Arzneimittel erfolgen. Generell ist in Deutschland, durch den Allergikeranteil von rund 30% der Bevölkerung, eine vorgeschädigte Haut immer öfter anzutreffen. In allen diesen Fällen empfiehlt es sich, vor dem Arbeiten an der Funkenerosionsmaschine die Hände mit einer oelunlöslichen Hautschutzsalbe einzureiben. Durch die Anwendung von Hautschutzcremes und die Verwendung von ölbeständigen Schutzhandschuhen können Hautprobleme vermieden werden. Siehe Hautschutzplan (oelheld-Website). 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:

1. Wenn die Fässer im Freien gelagert werden, sollten sie immer liegen und nie stehen, damit sie kein Regenwasser einsaugen können.
2. 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 oelbeständig und werden bei längerem Gebrauch hart.
3. Korrosionsschutzmittel, die zum Schutz der Maschine beim Transport verwendet werden, müssen vor Einfüllen des Dielektrikums entfernt werden.
4. 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.
5. Säuren, die zum Abbeizen von Elektroden verwendet werden, dürfen nicht in das Dielektrikum gelangen.
6. Die Hydraulikanlage einer Funkenerosionsmaschine sollte absolut dicht sein. Beimischungen von 1 – 2 % sind für den Funkenerosionsprozess noch unproblematisch. Größere Mengen Hydraulikoel im Dielektrikum führen infolge des großen Additivgehaltes dieser Oele zu Störungen. Bei Maschinen mit elektrischen Servomotoren besteht diese Gefahr nicht.
7. 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.

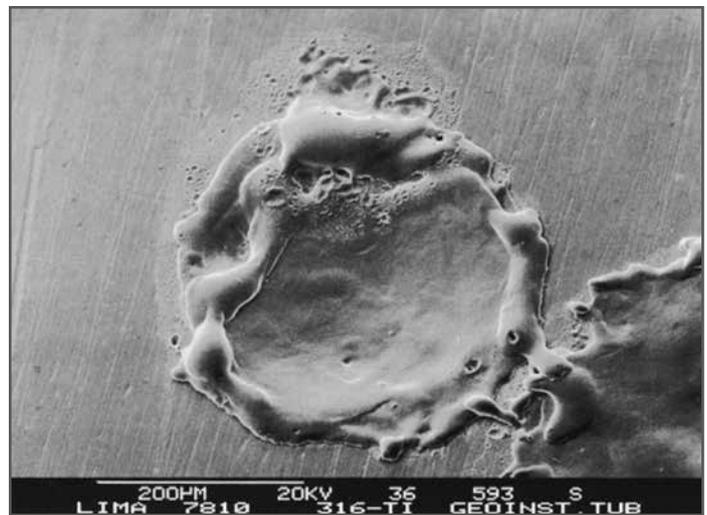
Wenn Sie diese Regeln im Umgang mit dem Dielektrikum beachten, kann das Dielektrikum in Mikrofilteranlagen bis zu 25 Jahre eingesetzt werden.

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 Kraters liegt bei ca. 200 µm. Die Aufnahmen erfolgten durch ein Elektronenmikroskop. Um den einzelnen Krater gut sichtbar zu machen, wurde eine polierte Metalloberfläche verwendet. Damit die Kraterwände sich nicht überlappen, durfte die Funkenerosionsmaschine nur für den Bruchteil einer Sekunde eingeschaltet werden.

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

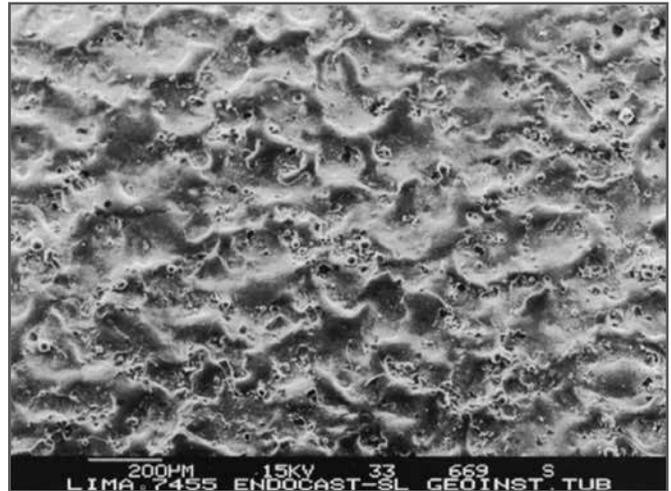


Hier ist ein Krater auf einem Titan-Werkstück abgebildet. Deutlich ist eine Profilstruktur zu erkennen, die durch das schnelle Erstarren des erhitzten Titans entstand. Ein Teil des flüssigen Titans wurde in das Dielektrikum geschleudert.

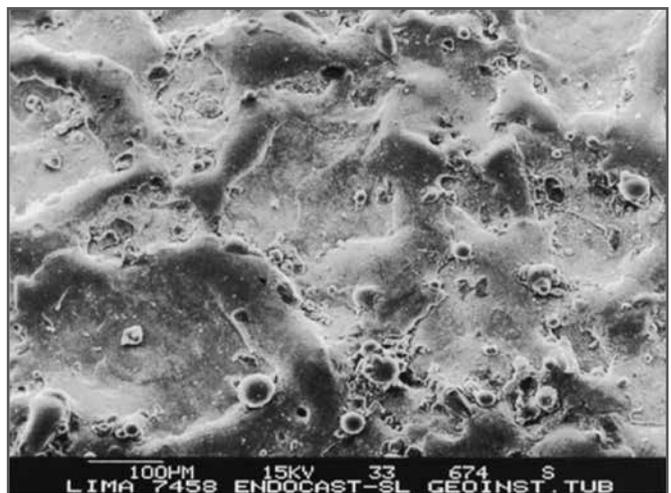


Erodierte Oberflächen

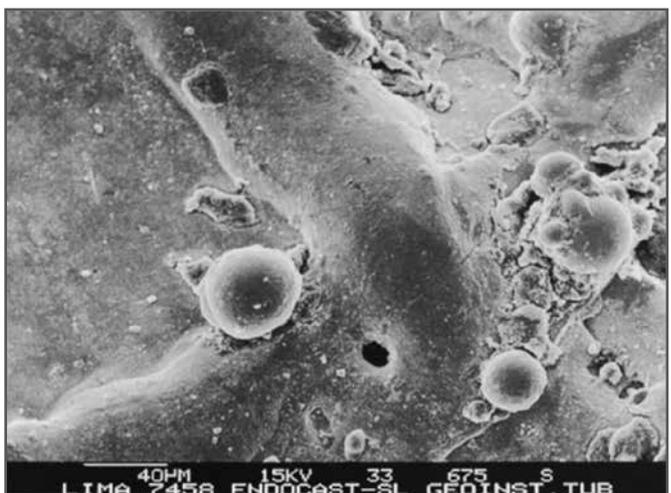
Das Charakteristische einer erodierten Oberfläche sind die unzähligen, nebeneinanderliegenden Krater mit ihren ineinanderfließenden Kraterwällen. Zusätzlich haften an der Oberfläche mikrofeine Abtragspartikel an.



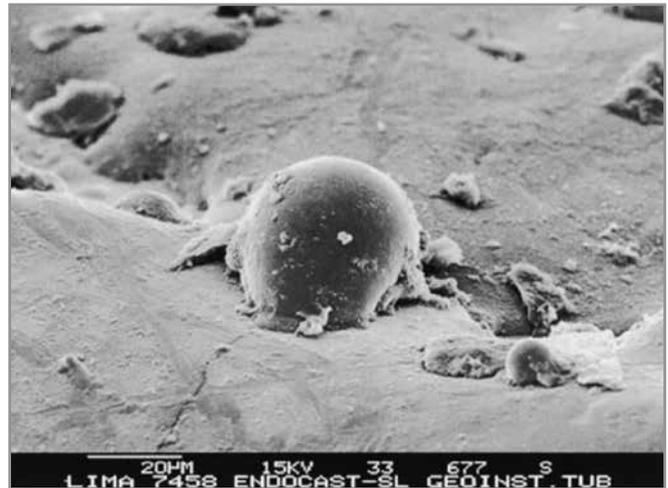
Durch eine weitere Vergrößerung kann man auf dem selben Werkstück deutlich die Kraterwälle und die anhaftenden Mikropartikel sowie ein Loch in der Metalloberfläche sehen.



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

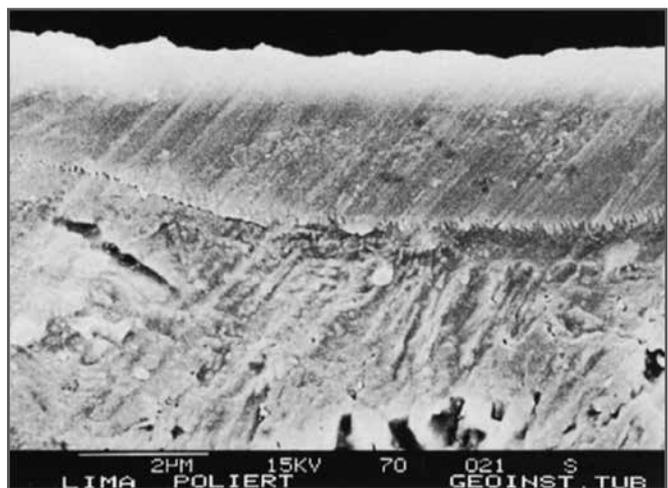
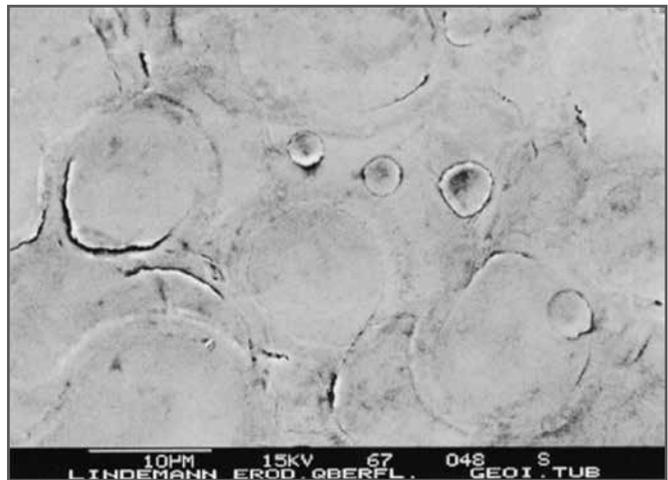


Wählt man mit dem Elektronenmikroskop eine stärkere Vergrößerung, so werden diese Mikrorisse sehr deutlich. Sogar die Abtragspartikel sehen „menschlich“ aus. Man kann „Augen, Ohren und einen Mund“ erkennen.



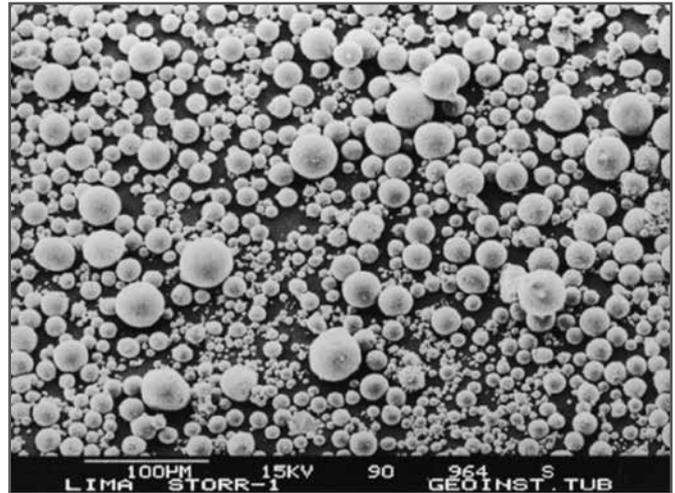
Funkenerosiv polierte Oberfläche

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.

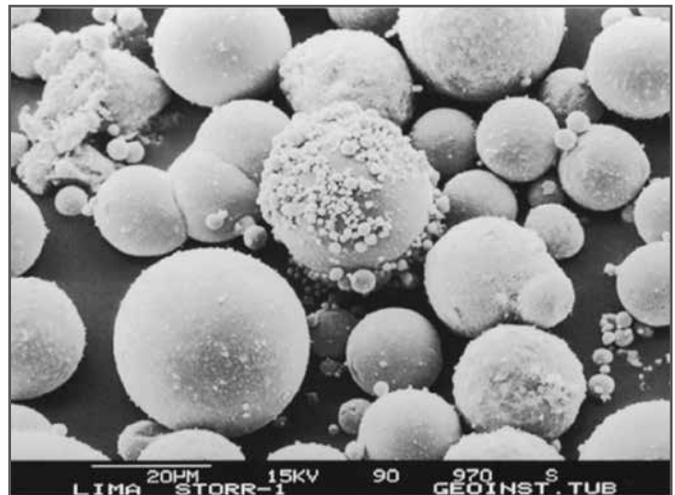


Abtragspartikel

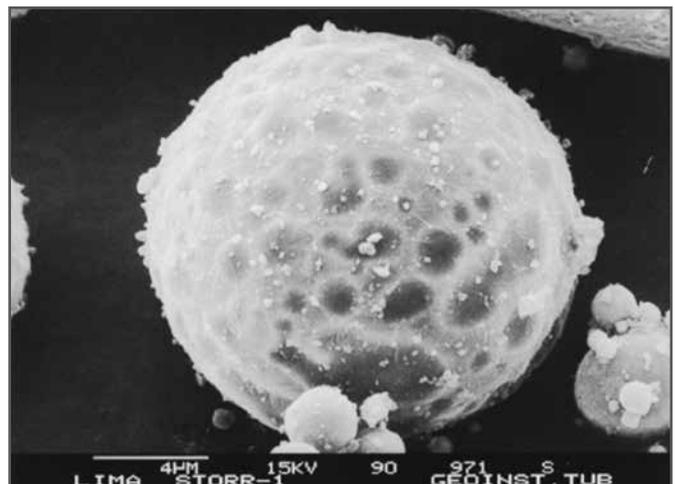
Mit bloßem Auge sieht der Erodierschlamm schwarz aus. Wird der Erodierschlamm eines Lohnerodierers, der mit verschiedenen Materialien arbeitet, mit Aceton ausgewaschen und danach unter ein Elektronenmikroskop gelegt, so entdeckt man eine Vielzahl großer und kleiner Kugeln.



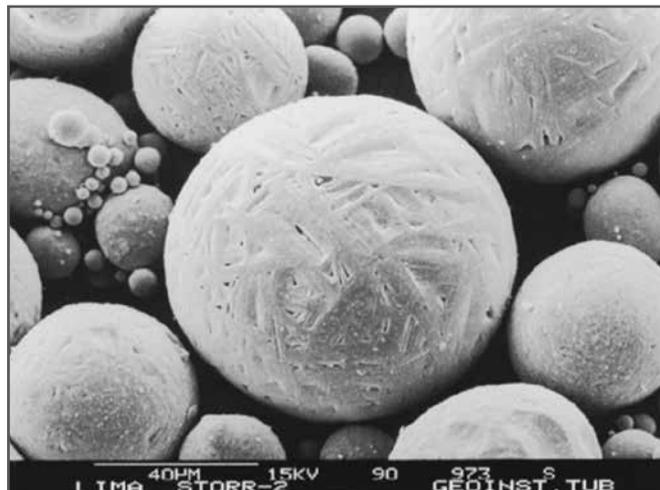
Weiter vergrößert, erkennt man deutliche Unterschiede der Abtragspartikel. So sind z.B. drei Abtragspartikel zu einem „Drilling“ zusammengeschmolzen, ein großer Partikel ist mit einem kleinen verschmolzen (Mutter und Kind) und auf einem großen Partikel haben sich viele kleine Partikel entweder durch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



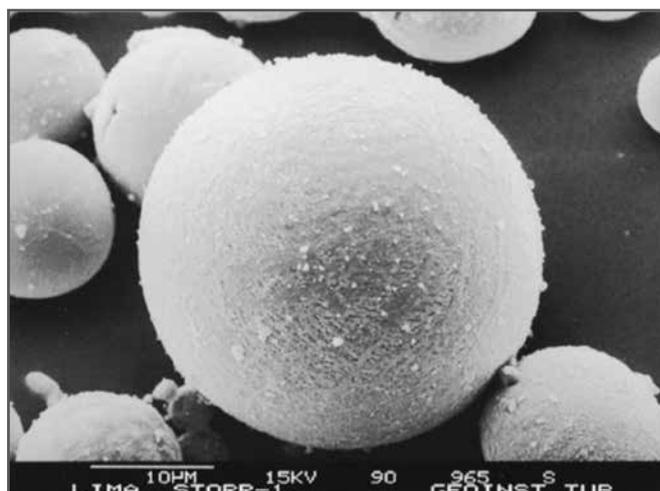
Einige Partikel sehen aus wie Golfbälle oder wie unser Nachbarplanet Mars mit seinen berühmten Marskanälen.



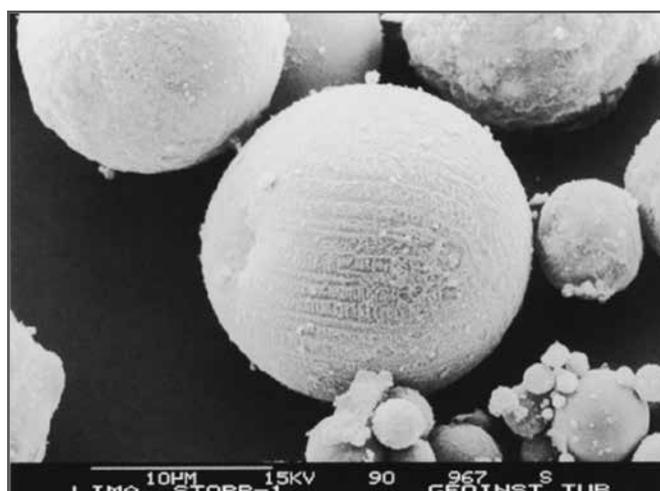
Andere Abtragspartikel wiederum haben eine textile Struktur, ...



... 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 Unfallverhütungsvorschriften 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; 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 Abwasserkanäle) zu treffen.

Elektroerodieranlagen sind HF-Einrichtungen, für deren Betrieb eine gesetzliche Meldepflicht an die zuständige Behörde (z.B. Deutsche Bundespost) besteht. Die erforderliche Betriebsereignisbescheinigung 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 gewährleistet 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 Schalterpunkt 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 Schutzvorrichtungen 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 Schutzvorrichtungen 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 gewährleistet ist.

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

Erstauflage: 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.

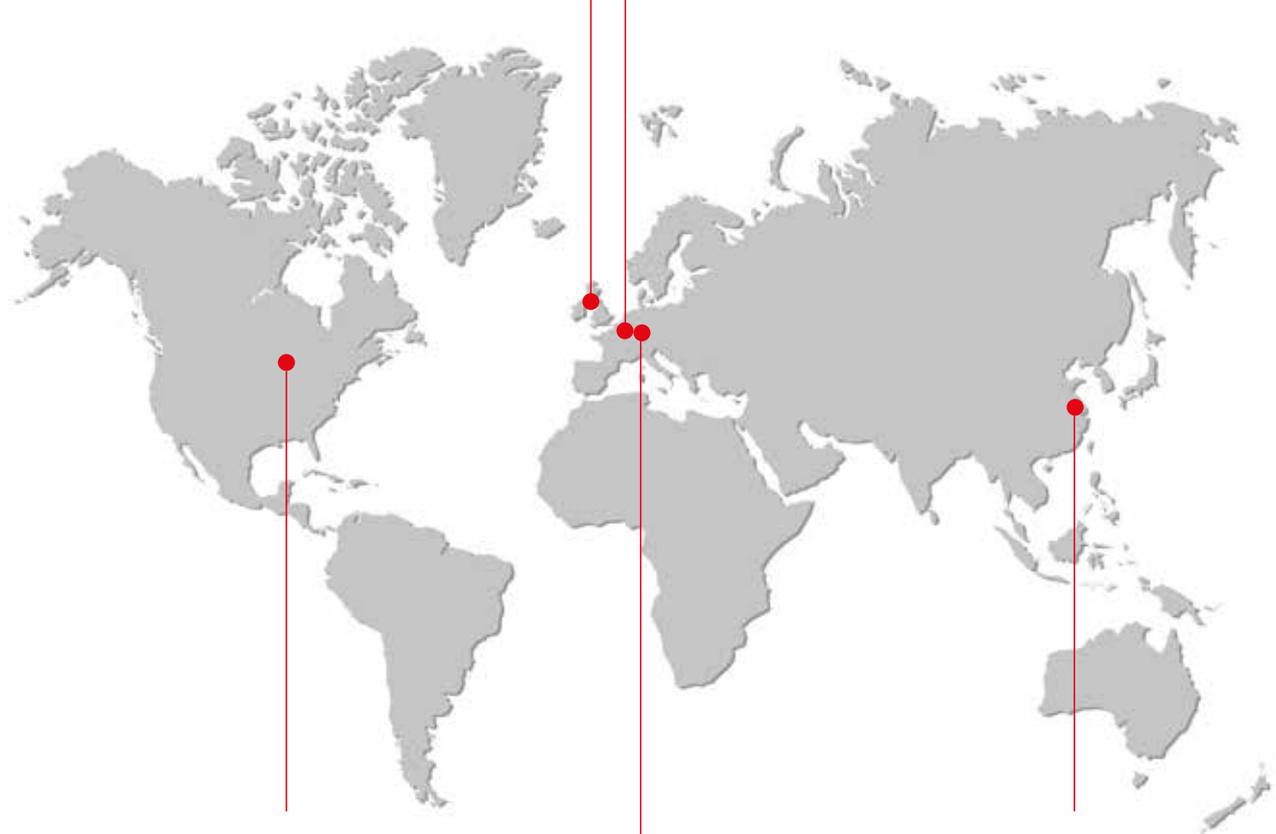
Hightech-Produkte für Maschinen – weltweit!

oelheld UK Ltd.

Unit 16, Colomendy Business Park, Erw Las
Denbigh, LL16 5TA. • Vereinigtes Königreich
Telefon: +44 1745 814-777
E-Mail: sales@oelheldgroup.co.uk
Internet: www.oelheld.com

oelheld technologies SAS

Technopôle de Forbach-Sud
140, Avenue Jean-Eric Bousch
57600 Oeting • Frankreich
Telefon: +33 387 90 42 14
E-Mail: hutec-fr@oelheld.com
Internet: www.oelheld.com



oelheld U.S., Inc.

1100 Wesemann Dr
West Dundee, IL 60118 • USA
Telefon: +1 847 531-8501
E-Mail: hutec-us@oelheld.com
Internet: www.oelheld.com

oelheld GmbH

Ulmer Strasse 133-139
70188 Stuttgart • Deutschland
Telefon: +49 711 16863-0
E-Mail: hutec@oelheld.de
Internet: www.oelheld.com

oelheld innovative fluid technology (Taicang) Co., Ltd

No. 5 Suzhou Road, Jiangsu
215400 Taicang • China
Telefon: +86 512 8278 0027
E-Mail: service@oelheld.com.cn
Internet: www.oelheld.com

Repräsentanten weltweit

Argentinien • Australien • Belgien • Bosnien und Herzegowina • Brasilien • Bulgarien • Chile • Dänemark • Estland • Finnland • Griechenland
Indien • Indonesien • Israel • Italien • Japan • Kasachstan • Kanada • Kroatien • Lettland • Litauen • Malaysia • Mexiko • Neuseeland • Niederlande
Norwegen • Österreich • Polen • Portugal • Rumänien • Russland • Schweden • Schweiz • Serbien • Singapur • Slowakei • Slowenien • Spanien
Südafrika • Südkorea • Taiwan • Thailand • Tschechien • Türkei • Ukraine • Ungarn • Weißbrussland



Human-Technology
für Mensch, Natur
und Maschine

oelheld[®]
innovative fluid technology

oelheld GmbH • Ulmer Strasse 133-139 • 70188 Stuttgart • Germany
Telefon: +49 711 16863-0 • Fax: +49 711 16863-3500
E-Mail: hutec@oelheld.de • Internet: www.oelheld.com