

Jutz83, et al.]. Als Werkzeugelektrodenwerkstoffe kann man prinzipiell alle elektrisch leitenden Werkstoffe einsetzen; am häufigsten werden derzeit Graphit und Elektrolytkupfer (Kupfer mit hohem Reinheitsgrad >99,5 %) verwendet.

Arbeitsmedien

Die funkenerosive Bearbeitung findet in einem Arbeitsmedium statt, das einen erheblichen Einfluss auf den Abtragprozess und seine Wirtschaftlichkeit ausübt. Bislang werden für das funkenerosive Senken Arbeitsmedien auf Ölbasis eingesetzt, die jedoch eine schlechte Umweltverträglichkeit besitzen.

Eine ökologische und zugleich ökonomische Alternative zu herkömmlichen Dielektrika auf Ölbasis sind wässrige Arbeitsmedien, die aus Wasser und einer organischen, wasserlöslichen Komponente bestehen (Abb. 2.26) [Sieb94].

Das Arbeitsmedium dient zur Einschnürung des Entladekanals, zur Reinigung und zur Kühlung des Arbeitsbereichs. Im Kühlvermögen unterscheiden sich ölhaltige und wässrige Arbeitsmedien erheblich, weil von der Wasserkomponente eine starke Kühlwirkung durch Verdampfungsvorgänge ausgeht. Der Arbeitsbereich wird daher so intensiv gekühlt, dass bereits kleine Elektrodengeometrien mit einem hohen Strom beaufschlagt werden können. Um den Bereich der Entladung bildet sich zudem weniger Gas, so dass höhere Prozesskräfte entstehen.

Der durch die thermische Wirkungsweise der Funkenentladung aufgeschmolzene Werkstoff wird deswegen mit einem hohen Wirkungsgrad aus dem Entladekrater entfernt. Es werden kürzere Erodierzeiten erreicht, die sich bei der Fertigung von großvolumigen Formwerkzeugen in deutlichen Zeitvorteilen beim Schrappen und Vorschlichten niederschlagen [Sieb91, Dünn92, Köni92].

2.2.2 Funkenerosives Schneiden mit ablaufender Drahtelektrode

Die Technologie beeinflussende Verfahrenscharakteristika

Die im vorherigen Kapitel für das funkenerosive Senken beschriebenen grundlegenden Zusammenhänge zwischen Impulsparametern, Abtrag, Verschleiß und Oberflächenbeschaffenheit gelten auch weitgehend für das funkenerosive Schneiden, da beide Verfahrensvarianten auf dem selben Abtragprinzip beruhen. Die Schneiderosion weist jedoch spezielle Eigenschaften auf, die sich in einer eigenständigen Technologie ausdrücken. Die

Konturerzeugung erfolgt zum einen durch Abbildung der Drahtelektrode, zum anderen jedoch insbesondere durch Abbildung der programmierten Schnittbahn im Werkstück. Der thermischen und mechanischen Beanspruchbarkeit der Drahtelektrode sind durch ihren geringen Querschnitt (Durchmesser von 0,02 - 0,33 mm) Grenzen gesetzt. Zur Vermeidung von Drahtbruch, dessen Hauptursache in einer gleichzeitigen räumlichen und zeitlichen Konzentration von Entladungen zu suchen ist [Deke88], wird daher einerseits der erosionsbedingte Verschleiß am Draht durch eine kontinuierliche Drahterneuerung kompensiert. Andererseits findet die Drahterosion im Vergleich zur Senkbearbeitung auf einem deutlich geringeren Entladeenergieniveau statt.

	Kohlenwasserstoff-dielektrika	deionisiertes Wasser	wässrige Lösungen organischer Verbindungen
Handhabungseigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - entflammbar →aufwendige Feuer-schutzmaßnahmen - Hautunverträglichkeit - Entwicklung von ge-sundheitsgefähr-denden Dämpfen - biol. schlecht ab-baubar →Entsorgungsprobleme + keine Korrosion + keine Deionisierung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> + nicht entflammbar + gute Umgebungsbe-dingungen für Bedien-personal + keine gesundheitsge-fährdenden Dämpfe + Entsorgung unproblematisch - Korrosion bei korrosi-onsgefährdeten Werkstoffen → Aufbringen von Schutzschichten - Deionisierung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> + nicht entflammbar + gute Arbeitsbedingun-gen für Bedienpersonal + gute Trennbarkeit des Mediums von den Abtragprodukten + keine Korrosion + gute Hautverträglichkeit + hohe Standzeit - Deionisierung erforderlich
Technologisches Verhalten	<ul style="list-style-type: none"> + hohe Abtragrate + geringer Verschleiß - Sehr hohe Randzonen-beeinflussung 	<ul style="list-style-type: none"> - niedrige Abtragrate - hoher Verschleiß + niedrige Randzonen-beeinflussung + gute Oberflächenbe-schaffenheit 	<ul style="list-style-type: none"> + sehr hohe Abtragrate + geringer Verschleiß (Schruppbearbeitung) - mäßiger Verschleiß (Schlichtbearbeitung) + niedrige Randzonenbe-einflussung - mäßige Oberflächenbe-schaffenheit

Abb. 2.26. Gegenüberstellung unterschiedlicher Arbeitsmedien für die Funken-erosion

Diese geringen Entladeenergien resultieren hauptsächlich aus sehr kleinen Impulsdauern (ca. 0,1 - 4 μ s), die aufgrund der begrenzten thermischen Belastbarkeit der Drahtelektrode sowie zur Gewährleistung einer ausreichenden Spülung des relativ schmalen Arbeitsspalts notwendig sind.

Da der anodenseitige Abtrag pro Entladung im Bereich der für die Drahterosion genutzten Impulsdauern (Größenordnung $t_e < 4 \mu$ s) über dem kathodenseitigen Abtrag liegt, ist die Elektrode im Unterschied zu den meisten Fällen der Senkbearbeitung negativ gepolt und gewährleistet so eine höhere Leistungsfähigkeit des funkenerosiven Schneidens [Köni90a, Sieg94a].

Ein weiteres charakteristisches Merkmal des funkenerosiven Schneidens stellt in den meisten Fällen die Verwendung von deionisiertem Wasser als Dielektrikum dar. Hierfür sind im Wesentlichen zwei Ursachen zu nennen: Erstens führen die Polarisierbarkeit und die im Vergleich zu Kohlenwasserstoffverbindungen höhere elektrische Leitfähigkeit des Wassers zur Ausbildung eines größeren Arbeitsspalts [Sieg94a]. Hierdurch reduziert sich die Kurzschlussgefahr durch Berührung zwischen Draht und Werkstück, und die Spülung wird einhergehend mit dem Prozessverlauf verbessert. Darüber hinaus sind die Abtragpartikel beim Einsatz von Wasser als Arbeitsmedium kleiner [Hens84]. Als zweiter Grund ist zu nennen, dass von Wasser aufgrund seiner besseren Wärmeleit- und Wärmespeichereigenschaft eine stärkere Kühlwirkung auf die Elektrode ausgeht [Schu75].

Kohlenwasserstoffbasiertes Dielektrikum dagegen ermöglicht kleinere Arbeitsspalte, so dass es zum funkenerosiven Schneiden von Konturen mit sehr kleinen Innenradien weiterhin verwendet wird. Außerdem können durch den Einsatz von kohlenwasserstoffbasierten Dielektrika die Korrosionserscheinungen bei der Bearbeitung von Hartmetall und PKD vermieden werden. In Abb. 2.27 sind zusammenfassend die den funkenerosiven Schneidprozess beeinflussenden bzw. charakterisierenden Größen dargestellt.

Technologische Kenngrößen

Zu den Zielgrößen bei der Drahterosion zählen einerseits die Maximierung der Abtraggeschwindigkeit sowie andererseits hohe Genauigkeit, gute Oberflächen- und Randzoneneigenschaften. Als Leistungskenngröße wird beim funkenerosiven Schneiden die sog. Schnittrate V_w herangezogen. Zur Vergleichbarkeit der Abtragleistungen bei unterschiedlichen Werkstückhöhen wird die Vorschubgeschwindigkeit v_f des Drahts senkrecht

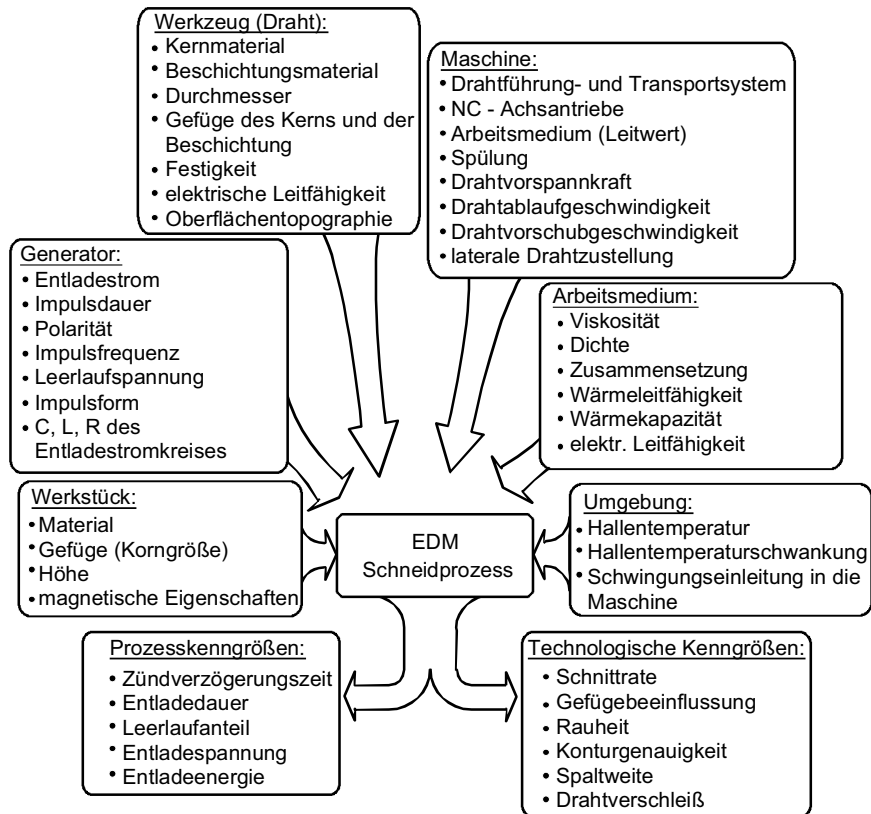


Abb. 2.27. Den funkenerosiven Schneidprozess beeinflussende bzw. charakterisierende Größen

zur Ablaufrichtung mit der Werkstückhöhe h multiplikativ verknüpft:

$$V_W = v_f \cdot h. \quad (2-11)$$

Die Schnittrate besitzt daher im Gegensatz zur Abtragarate beim Senken die Dimension einer Fläche pro Zeiteinheit.

Beim Leistungsschnitt (Hauptschnitt) kommt dem Elektrodenverschleiß nur im Hinblick auf einen Drahtbruch Bedeutung zu. Im Schlichtbetrieb (Nachschnitte) fällt er meist so gering aus, dass kaum Einfluss auf die Maßgenauigkeit des Werkstücks besteht. Die Genauigkeit beim funkenerosiven Schneiden ist in erster Linie durch die Geometrie der Schnittspur gekennzeichnet (Abb. 2.28). In Abhängigkeit von Drahtwerkstoff, -durchmesser, -vorspannung, Werkstückhöhe sowie Entlade- und Spülbedingungen bilden sich unterschiedliche Schnittspuren und Bauchungen aus. Bei sog. Nachschnitten befindet sich die Drahtelektrode nicht mehr mit ihrem

ganzen Durchmesser im Eingriff, so dass in solchen Fällen die laterale Spaltweite s_l herangezogen wird.

Als Kenngröße zum Vergleich verschiedener Schnittspalte dient die mittlere Schnittspur, welche das arithmetische Mittel aus oberer und unterer Schnittspur darstellt:

$$s_m = \frac{s_o + s_u}{2}. \quad (2-12)$$

Das Vermessen der Schnittspuren gestattet es weiterhin, die Konizität des Schnittspalts zu bestimmen, die infolge schlechter Spülverhältnisse oder einer ungünstigen Lage des Werkstücks auftreten kann:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{s_o - s_u}{2h}. \quad (2-13)$$

Die Oberflächen- und Randzonenbildung bei der Schneiderosion wird analog zur Senkbearbeitung durch eine Reihe von Kenngrößen charakterisiert: Während Rauheitskennwerte und Oberflächenwelligkeit die Morphologie der erodierten Oberfläche kennzeichnen, beziehen sich Gefüge, Härte und Eigenspannungszustand der Randzone sowie

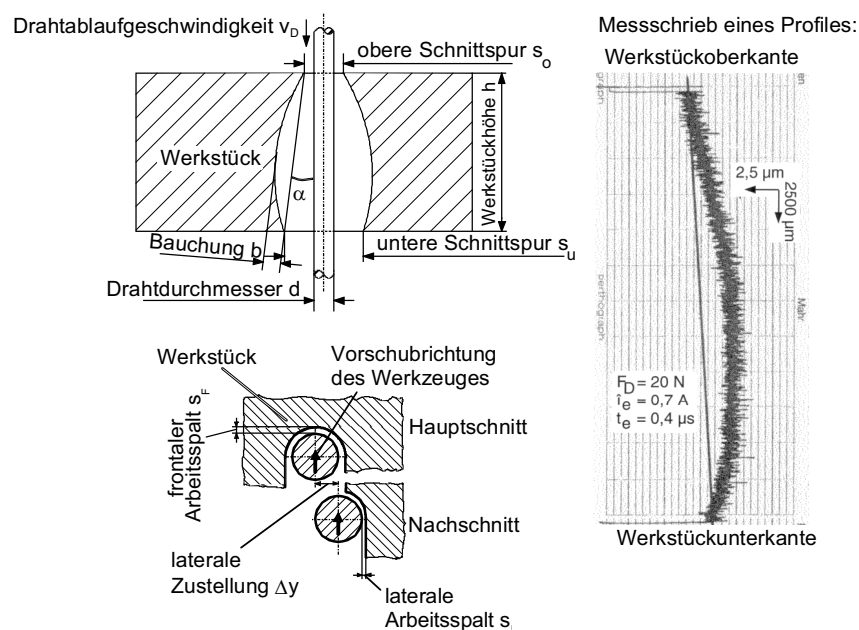


Abb. 2.28. Geometrie der Schnittspur beim funkenerosiven Schneiden

Dauerfestigkeit des Bauteils auf die mechanischen und chemischen Eigenschaften der Randschichten.

Verfahrenseinflüsse auf die Schnitttrate

Die Schnitttrate wird bei vorgegebenem Drahtmaterial und -durchmesser in erster Linie von den elektrischen Parametern Entladeenergie und Impulsfrequenz bestimmt. Bei konstanter Entladeenergie und Erhöhung der Impulsfrequenz nimmt die Schnitttrate aufgrund der je Zeiteinheit wachsenden Anzahl der Entladungen zu (Abb. 2.29). Eine Erhöhung der Entladeenergie bei konstanter Impulsfrequenz führt ebenfalls zu einer Schnittratensteigerung, die auf einen wachsenden Abtrag je Entladung zurückzuführen ist. Wie aus Abb. 2.29 weiter hervorgeht, sind einer Erhöhung der Impulsfrequenz aufgrund der thermischen Belastbarkeit des Drahts sowie der unzureichend kurzen Pausendauern zur Spülung des Arbeitsspaltens Grenzen gesetzt. Auch ist erkennbar, dass mit optimierter Technologie höhere Schnittraten möglich sind. Durch spezielle Hochleistungsdrähte ist jedoch immer noch ein Potential zur Erhöhung der Schnitttrate vorhanden. Heute sind Schnittraten von maximal 500 mm²/min erreichbar. Einen weiteren deutlichen Einfluss auf die Schnitttrate besitzt die Werkstückhöhe (Abb. 2.30). Mit wachsender Werkstückhöhe ist zunächst eine Zunahme der Schnitttrate verbunden, für die verschiedene Ursachen in Betracht kommen.

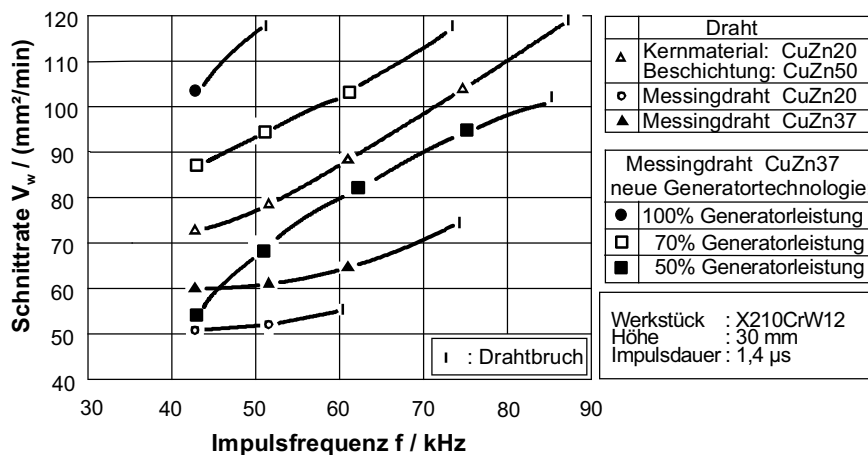


Abb. 2.29. Die Schnitttrate in Abhängigkeit von der Impulsfrequenz und der Drahtelektrode

Die größere Drahteingriffslänge bei steigender Werkstückhöhe führt zu einer Zunahme der prozessstabilisierenden Kontamination des Arbeitsmediums. Daneben erhöht sich auch die Wärmeleitung durch das Werkstück. Die bei dickeren Werkstücken entstehende, breitere Schnittspur verbessert die Spülverhältnisse und somit die Kühlwirkung des Arbeitsmediums auf den Draht. So liegen in Abhängigkeit von den Arbeitsbedingungen bei einer bestimmten Werkstückhöhe optimale Spaltbedingungen und damit einhergehend ein Schnittratenmaximum vor. Bei einer weiteren Steigerung der Werkstückhöhe wird die Spülung zunehmend erschwert. Die Folge ist eine Anhäufung von Prozessstörungen, die sich in einem Absinken der Schnittrate niederschlagen. Nachteilig auf den Prozessfortschritt wirkt sich auch das infolge einer verbreiterten Schnittspur größere abzutragende Materialvolumen aus.

In Hinblick auf die Erzielung möglichst hoher Schnittraten kommt auch der Wahl der Drahtelektrode eine wesentliche Bedeutung zu. Um eine weitgehend verlustfreie Übertragung der elektrischen Energie zum Arbeitsspalt zu gewährleisten, sollte der Drahtwerkstoff eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen. Weiterhin sollte der elektrische Übergangswiderstand an den Stromzuführungen möglichst gering sein, was sich durch eine oxidfreie und glatte Oberfläche erzielen lässt. Dahingegen haben Untersuchungen gezeigt, dass sich mit aufgerauten Drähten

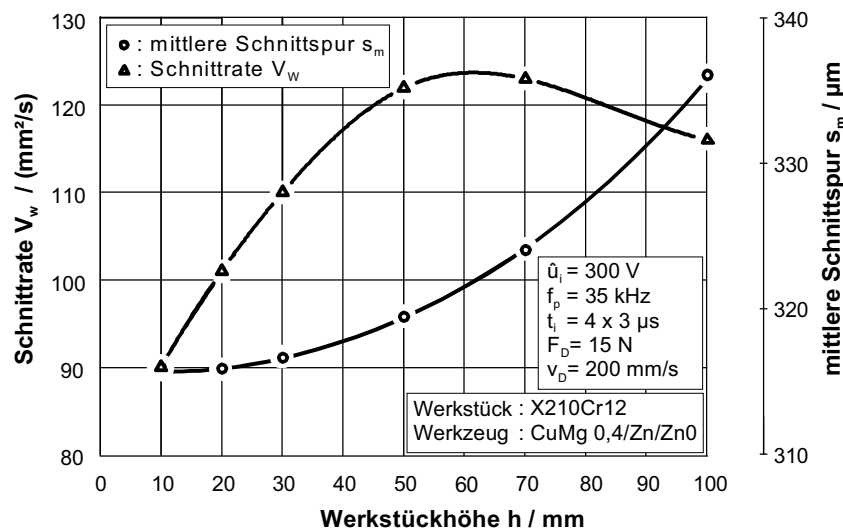


Abb. 2.30. Einfluss der Werkstückhöhe auf das Arbeitsergebnis

höhere Schnittraten erzielen lassen. Dies resultiert in der verbesserten Benetzung mit dem Dielektrikum und der gleichmäßigeren Zündbedingungen [Hens84]. Der Elektrodenwerkstoff besitzt darüber hinaus Einfluss auf die Bedingungen im Arbeitsspalt. So haben sich vor allem Messinglegierungen und der Einsatz zinkbeschichteter Drähte durchgesetzt, da durch das leicht verdampfbare Zink eine gleichmäßige Spaltkontamination eingestellt werden kann (Abb. 2.29) [Köni74, Hens84]. Näheres über den Aufbau von Drahtelektroden ist in Kap. 2.3 beschrieben.

Der Durchmesser der Drahtelektrode stellt einen weiteren wichtigen Einflussparameter auf die Schnittrate dar. Aufgrund der Tatsache, dass die Strombelastbarkeit des Drahtes mit dem Quadrat des Durchmessers steigt, während das Abtragvolumen lediglich linear wächst, sind mit größeren Durchmessern höhere Schnittraten erreichbar [Schu75].

Die Einstellparameter Drahtvorspannung und Drahtablaufgeschwindigkeit müssen der gewählten Drahtelektrode so angepasst werden, dass ein verschleißbedingtes Reißen des Drahtes unterbunden wird. Dabei besitzt die Drahtvorspannung die Aufgabe, Drahtschwingungen zu kompensieren, welche durch die prozessbedingten, am Draht angreifenden Kräfte ausgelöst werden.

Der Einfluss des Werkstückwerkstoffs auf die Schnittrate ist im Wesentlichen durch seine thermischen und elektrischen Kenngrößen, aber auch durch seine Dichte und Gefügezusammensetzung gekennzeichnet (vgl. Kap. 2.2.1). So können z. B. nichtmetallische Einschlüsse im Gefüge ab einer gewissen Größenordnung einen gleichmäßigen Prozessverlauf stark behindern. Der Vergütungszustand eines Werkstoffs hingegen ist für die erzielbare Schneidleistung nicht von Bedeutung [Förs79, VDI3400].



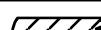


Verfahrenseinflüsse auf die Konturgenauigkeit

Wie in Abb. 2.28 dargestellt, lässt sich die Genauigkeit beim funkenerosiven Schneiden anhand von Schnittspur, Bauchigkeit und Konizität beschreiben. Dabei wird die Schnittflächenkontur nachhaltig vom Ausmaß der Drahtschwingungen bestimmt, welche durch die verschiedenen am Draht angreifenden Kräfte hervorgerufen werden [Pans74, Schu75, Förs79, Sieg94a]. Hierbei sind zu nennen:

- die Drahtvorspannkraft,
- spülungsbedingte Kräfte,
- elektrostatische Kräfte,
- elektromagnetische Kräfte und
- entladungsbedingte Kräfte infolge des Gasdrucks im Entladekanal.

Bei steigender Werkstückhöhe bzw. Einspannlänge des Drahts nimmt die Steifigkeit des eingespannten Drahts ab. Hierdurch werden Schwingungen begünstigt, so dass Schnittspur und Bauchigkeit zunehmen. Abb. 2.31 zeigt die Abhängigkeit der lateralen Bauchung von der Werkstückhöhe. Der Übergang von einer konvexen zu einer konkaven Bauchungsform deutet darauf hin, dass in diesem Fall ab einer Werkstückhöhe von 40 mm die Drahtelektrode eine ausgeprägte Saitenschwingung ausführt [Sieg94a].

Eine Erhöhung der Entladeenergie bewirkt ebenfalls eine Zunahme der Spaltweite bzw. der Schnittspur. Ursache hierfür ist zum einen die mit der Entladeenergie steigende Kontamination des Arbeitsspalt, welche die Durchschlagfestigkeit sinken lässt [Sieg94a]. Zum anderen bewirkt der Anstieg der entladungsbedingten Kräfte die Ausbildung einer größeren Spaltweite.

Höhe des Werkstücks / mm	Laterale Bauchung b_l / μm	Form der Bauchung	Ra / μm
10	0,85		0,293
20	1,25		0,300
30	1,75		0,293
40	-2,10		0,297
50	-2,30		0,325

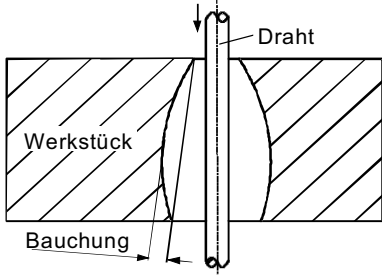
	Versuchsbedingungen WSt: HS6-5-3 WZ: CuZn37 $d = 0,2 \text{ mm}$ Einstellparameter: $\hat{i}_e = 0,7 \text{ A}$ $t_e = 0,4 \mu\text{s}$ $v_f = 1,67 \text{ mm/min}$ $F_D = 14 \text{ N}$
---	---

Abb. 2.31. Einfluss der Werkstückhöhe auf die Form und die Größe der lateralen Bauchung

Weiterhin ist die Breite des Arbeitsspalts in gewissen Grenzen durch die Sollwertspannung beeinflussbar. Auf diese Weise werden über die Vorschubregelung günstige Entlade- und Spülbedingungen eingestellt. Die Drahtelektrode beeinflusst die Schnittspurbreite einerseits über ihren Durchmesser und andererseits über die Materialzusammensetzung in der Außenschicht, die Auswirkungen auf die Kontamination und damit auch auf die Breite des Arbeitsspalts besitzt.

Die Konizität der Schnittspur resultiert zumeist aus falsch gewählten Spülbedingungen oder einer ungünstigen Lage des Werkstücks. Neben der Beeinflussung der Schnittflächenkontur führen statische Drahtauslenkungen infolge der oben genannten Kräfte zu Abweichungen von der programmierten Bahn, wie in Abb. 2.32 dargestellt [Schu91]. Beim Richtungswechsel des Vorschubs entsteht bei spitzen Winkeln am Draht eine senkrecht zur Kontur verlaufende Kraftkomponente (Entladungskraft). Der zweite Vektor ist eine Rückstellkraft, die aus statischer Drahtauslenkung und Drahtvorspannkraft resultiert. Er weist

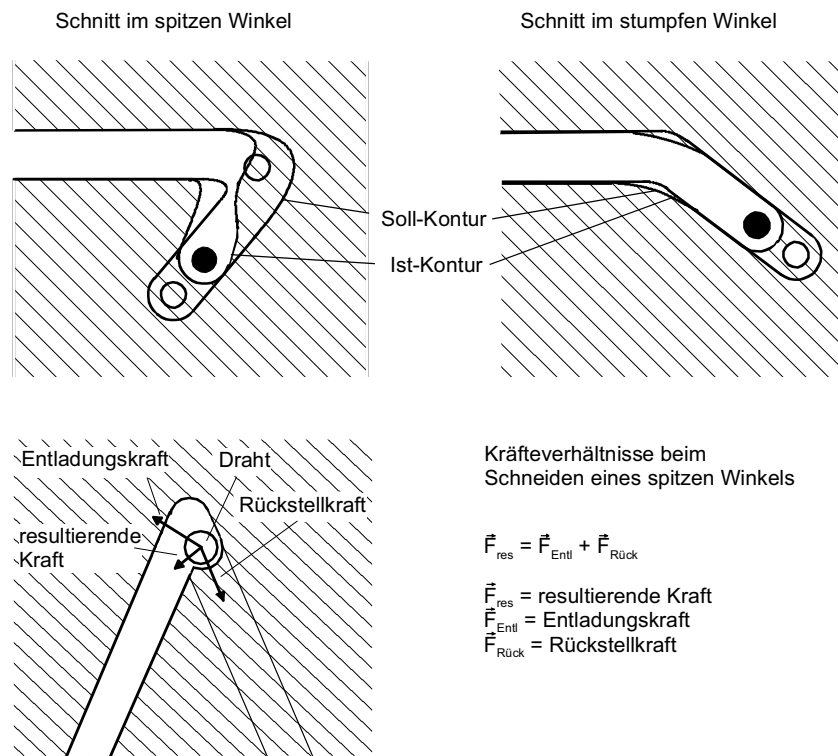


Abb. 2.32. Konturfeder beim Schneiden durch statische Drahtlagefehler

vom Drahtmittelpunkt in Richtung der Position der voreilenden Drahtführungen in der X-Y-Ebene. Seine Richtung wird durch die vorgegebene Schnittbahn bestimmt. Aus diesen beiden Kräften ergibt sich eine resultierende Kraft, die die rückweichende Schnittkontur verursacht.

Eine Möglichkeit der Abhilfe besteht in der Reduzierung der Schnittgeschwindigkeit im Kurvenbereich. Dadurch wird der Schleppfehler kleiner, die Bauteilgenauigkeit steigt, aber die Bearbeitungszeit erhöht sich.

Verfahrenseinflüsse auf die Oberflächen- und Randzonenbildung

Insbesondere im Werkzeugbau spielt die erzielbare Oberflächen- und Randzonenbildung eine entscheidende Rolle, da gerade funkenerosiv geschnittene Bauteile häufig die hochbelasteten Aktivelemente des Werkzeugs darstellen. In Anwendungsfällen, wo die nach dem funkenerosiven Schneiden mit maximal möglicher Schnittrate zurückbleibende Oberflächengüte den Anforderungen nicht gerecht wird, hat sich die Mehrschnitt- bzw. Nachschnitttechnologie durchgesetzt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass im Anschluss an einen konturerzeugenden Hauptschnitt in mehreren aufeinanderfolgenden Nachschnitten mit sukzessive reduzierter Entladeenergie die Randschicht der vorausgegangenen Bearbeitung nachgearbeitet wird. Hierbei wird neben der Erzielung einer bestimmten Oberflächenrauheit und Form- und Maßgenauigkeit eine Verringerung der Dicke der thermisch beeinflussten Randzone angestrebt. Dies dient in erster Linie einer Verbesserung der dynamischen Bauteileigenschaften. In Abb. 2.33 ist exemplarisch die Oberflächenbildung mit den dazugehörigen Rauheitskennwerten sowie der Dicke der weißen Randzone für die Bearbeitungsstufen Hauptschnitt bis fünfter Nachschnitt dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass sich lediglich bis zum dritten Nachschnitt eine völlig neue weiße Randzone ausbildet. Ab dem vierten Nachschnitt werden nur noch die Rauheitsspitzen abgetragen bzw. eingeebnet [Sieg94b].

Bearbeitungs- stufe	Ra / μm	\bar{R}_z / μm	d _R / μm	Schliffbild ----- 20 μm	Werkstück: HS6-5-3	Werkzeug: CuZn37, d = 0,25 mm
Hauptschnitt	3,45	23,47	9,6			
1. Nachschnitt	1,94	14,31	5,5			
2. Nachschnitt	1,38	8,52	4,1			
3. Nachschnitt	0,67	5,29	2,5			
4. Nachschnitt	0,53	4,01	1,8			
5. Nachschnitt	0,35	3,07	1,4			

Abb. 2.33. Randzonenausbildung beim Hauptschnitt und bei den ersten fünf Nachschnitten

Abb. 2.34 verdeutlicht, dass eine Erhöhung der Entladeenergie über den Entladestrom einen Anstieg der Oberflächenrauheit zur Folge hat. Ursache hierfür ist die mit dem Entladestrom zunehmende Kratertiefe, welche unmittelbar die Oberflächenrauheit bestimmt. Die Erhöhung der Entladeenergie über eine Verlängerung der Entladedauer führt gleichfalls zu einem Anstieg der Oberflächenrauheit [Sieg94a].

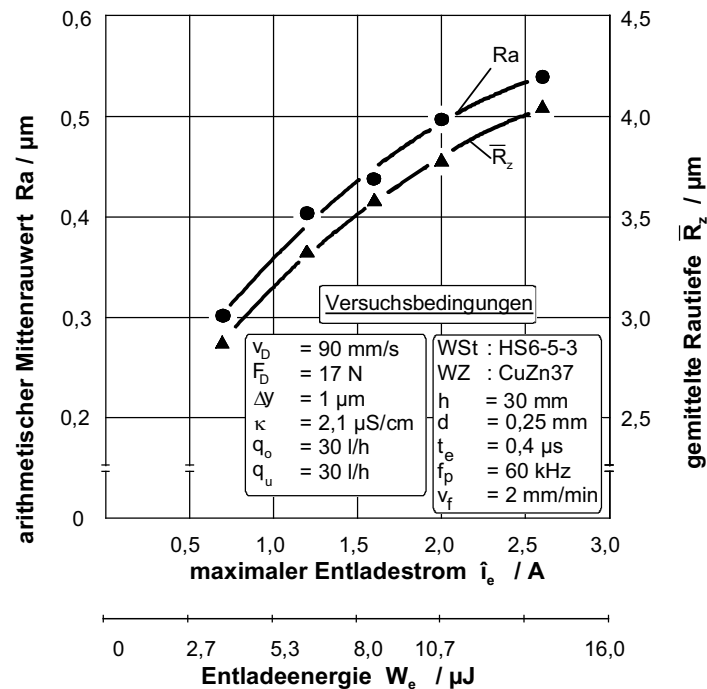


Abb. 2.34. Einfluss des Entladestroms auf die Oberflächenrauheit

Mit wachsender Impulsfrequenz ist eine Abnahme der Oberflächenrauheit zu verzeichnen, die auf die steigende Wahrscheinlichkeit der Einebnung noch vorhandener Rauheitsspitzen infolge dort stattfindender Entladungen zurückzuführen ist (Abb. 2.35). Mit modernen Anlagen kann ein arithmetischer Mittenrauwert von 0,04 μm erreicht werden.

Ein Einfluss auf die Oberflächenausbildung geht ebenfalls von den mechanischen Einstellparametern, wie Drahtvorspannkraft, Drahtablaufgeschwindigkeit, Vorschubgeschwindigkeit und den Spülströmen aus. Die Drahtvorspannkraft sollte zur Erzielung eines gleichmäßigen Prozessverlaufs ohne starke zeitliche Spaltweitenschwankungen so hoch wie möglich eingestellt werden. Die Drahtablaufgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass die Rauheit des sich im Eingriff befindlichen Drahts trotz seines verschleißbedingten Rauheitsanstieges nicht deutlich über der geforderten Werkstückrauheit liegt [Jörr89].

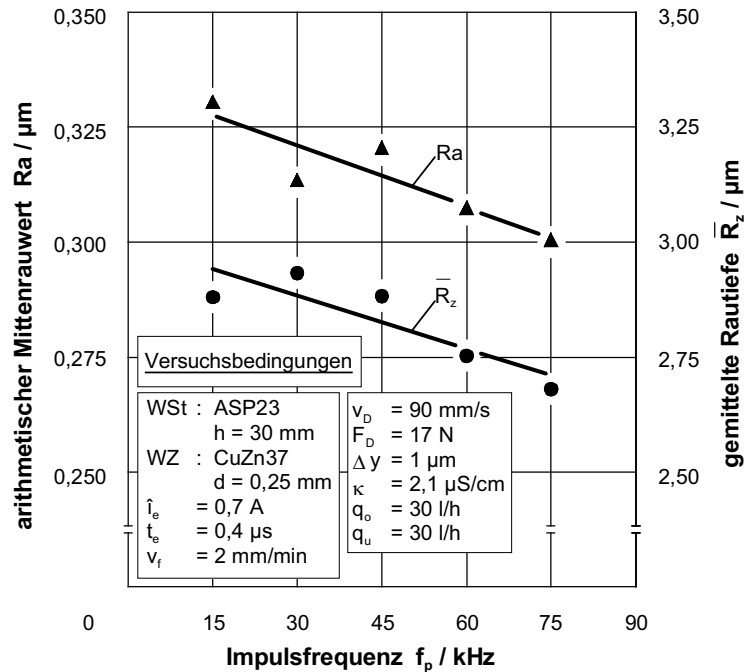


Abb. 2.35. Einfluss der Impulsfrequenz auf die Oberflächenrauheit

Die Vorschubgeschwindigkeit muss für Nachschnitte, bei denen sich kein zur Vorschubgeschwindigkeitsregelung ausreichend großer Stirnspalt ergibt, fest vorgegeben werden. Dabei steigt die Oberflächenrauheit mit einer Anhebung der Vorschubgeschwindigkeit, da ähnlich wie auch bei sinkender Impulsfrequenz die Wahrscheinlichkeit abnimmt, noch vorhandene Rauheitsspitzen einzuebrennen. Die Spülströme müssen in Hinblick auf die Erreichung hoher Oberflächenqualitäten optimiert werden: Zu große Spülströme führen zu einer Verschlechterung der Zündbedingungen, und die an der Drahtelektrode angreifende spülungsbedingte Kraft wächst an. Zu niedrig gewählte Spülströme hingegen verursachen eine zu hohe Kontamination des Arbeitsspalts und somit einen ungünstigen Prozessverlauf.

Die Drahtelektrode übt im Wesentlichen über ihre Zusammensetzung sowie ihre Oberflächenbeschaffenheit Einfluss auf die erzielbare Werkstückoberflächenqualität aus. Neben glatten, oxidfreien Oberflächen der Drähte hat sich ein leicht verdampfbarer Zinkanteil, der zu einer prozessstabilisierenden Spaltkontamination beiträgt, als vorteilhaft erwiesen [Sieg94a].

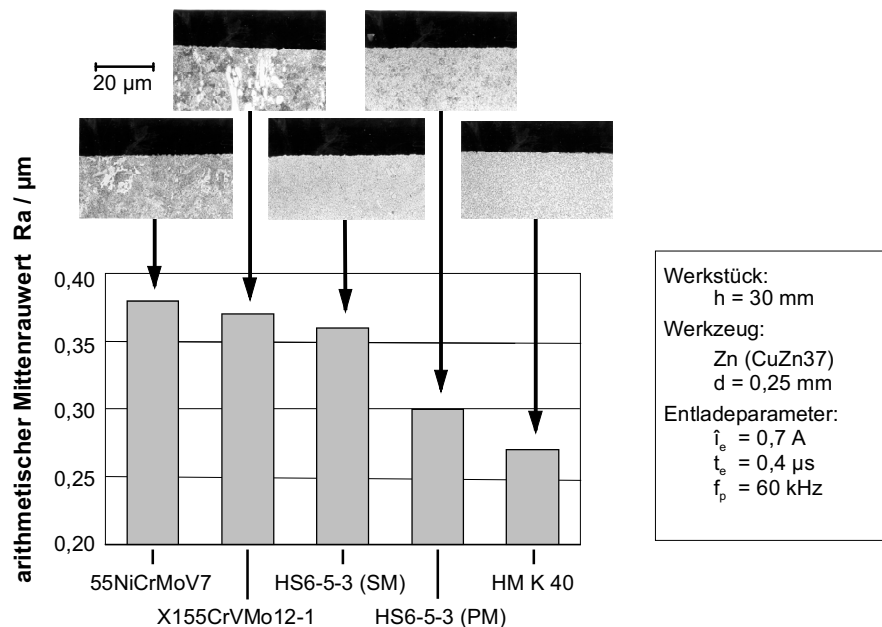


Abb. 2.36. Oberflächenausbildung bei verschiedenen Werkstückstoffen im 6. Nachschnitt

Abb. 2.36 zeigt die Abhängigkeit der erzielbaren Oberflächenausbildung vom bearbeiteten Werkstoff. Anhand der Schliffbilder wird deutlich, welche Gefügeeigenschaften für die entstehende Oberflächenrauheit verantwortlich sind. So kommt es beispielsweise bei dem Kaltarbeitsstahl X155CrMoV12-1 aufgrund der großen Mischkarbide mit ihrem relativ hohen Schmelzpunkt verstärkt zu Oberflächendefekten.

Augenscheinlich wird dieser Zusammenhang ebenfalls am Beispiel des Schnellarbeitsstahls HS6-5-3: Bei der pulvermetallurgisch hergestellten Variante liegt eine weitaus gleichmäßigere Verteilung und insgesamt kleinere Korngröße der Karbide vor, so dass ein stetiges Abtragverhalten ermöglicht wird. Die beste Oberfläche ist an dem Hartmetallwerkstück erzielbar. Dies liegt zum einen an den kleineren Entladekratern infolge der gegenüber Stahl höheren Schmelz- und Verdampfungsenthalpie und zum anderen an der selbst im Vergleich zu HS6-5-3 (PM) kleineren Korngröße und noch besseren Homogenität des Hartmetallgefüges [Sieg94a]. Entscheidend ist jedoch in allen Fällen, dass der Werkstoff über sein Gefüge bzw. seine Zusammensetzung die Oberflächenausbildung erst dann merklich beeinflusst, wenn gefügebedingte Oberflächendefekte die Größenordnung der geforderten Oberflächenrauheit überschreiten.

Beim Erodieren von Werkstoffen mit unterschiedlichem elektrochemischen Auflösungsverhalten der Gefügebestandteile, wie beispielsweise Hartmetall, kommt es bei einem hohen Leerlaufspannungsanteil aufgrund der vorwiegend anodischen Werkstückpolung zu einem elektrochemischen Abtrag der Bindephase in deionisiertem Wasser [Köni74]. Dies bewirkt z.T. ein Herauslösen ganzer Karbidkörner aus dem Verbund und führt somit zu entsprechend rauen Oberflächen. Dieser Effekt wird darüber hinaus durch eine hohe Restleitfähigkeit des Dielektrikums sowie eine lange Verweildauer im Wasserbad verstärkt.

Die Randzonenausbildung bei der funkenerosiven Bearbeitung ist allgemein in Kap. 2.2.3 beschrieben. Wie bereits aus Abb. 2.33 hervorgeht, nimmt die Tiefe der durch rasches Aufschmelzen und Wiedererstarren gekennzeichneten weißen Randschicht mit sinkender Entladeenergie ab. Damit einhergehend reduzieren sich auch die Größe und Eindringtiefe der Zugeigenspannungen, solange es beim Nachschnitt zur Ausbildung einer völlig neuen Randzone kommt [Sieg94a].

Prozessoptimierung beim funkenerosiven Schneiden

Im Bereich der Prozessregelung und -optimierung existieren mittlerweile eine ganze Reihe unterschiedlicher Systeme, die zum Teil auf eine Steigerung der Schnittrate und zum Teil auf eine Verbesserung der Oberflächenrauheit abzielen [Sieg94b]. So gibt es heute adaptive Regler, die die Generatorparameter und die Charakteristik des Vorschubreglers auf die jeweils zu bearbeitende Werkstückhöhe und den aktuellen Prozessverlauf abstimmen. Hierdurch wird es möglich, den Prozess mit ständig angepassten und somit optimierten Parametern zu betreiben. Auch dient heute schon die aktuelle Werkstückhöhe als Referenzwert für einen automatisch gewählten Spüldruck.

Weiterhin gibt es Maschinen, die mit sogenannten Höhenkompensationen ausgerüstet sind. Ziel ist es dabei, die Biegung des Drahtes infolge der äußeren Prozesskräfte durch Überlagerung einer Gleichspannung (elektrostatische Kraft) zu vermeiden oder aber zumindest zu minimieren.

Beim Leistungsschnitt besteht die Gefahr eines Drahtbruchs infolge mehrerer Entladungen, die direkt nacheinander an einer Stelle zünden und somit zu einer lokalen thermischen Überlastung der Drahtelektrode führen. Um dieser Gefahr entgegen zu wirken, gibt es Sensoren, die mit Hilfe der Höhe des über den oberen bzw. unteren Stromkontakt fließenden Entladestroms die örtliche Position einer Entladung bestimmen können. Somit ist

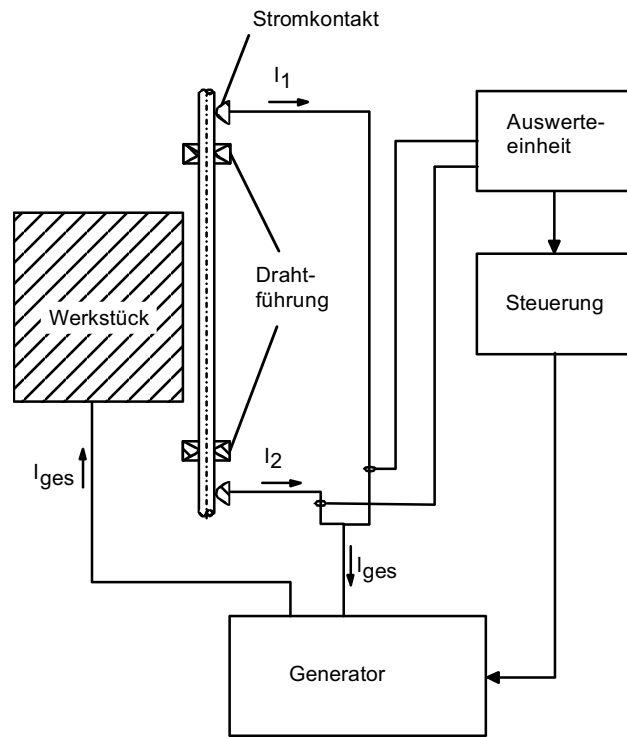


Abb. 2.37. Sensor zur Detektierung des Funkenüberschlagorts

es z. B. möglich, bei einer gewissen Zahl aufeinander folgender Entladungen einige Impulse auszublenden, um einen Drahtbruch zu vermeiden (Abb. 2.37). Gleiches wird auch verwendet, wenn scharfe Kanten hergestellt werden sollen, um lokal übermäßigen Abtrag zu verhindern.

2.2.3 Oberflächenbeschaffenheit

Allgemeines

Unter dem Begriff Oberflächenbeschaffenheit ist die Beschreibung sowohl der geometrischen Gestalt der Oberfläche als auch der metallphysikalischen und chemischen Eigenschaften der unmittelbar unter der Oberfläche liegenden Werkstoffbereiche zu verstehen (Abb. 2.38). Der Oberflächenbeschaffenheit funkenerosiv bearbeiteter Werkstücke kommt besondere Bedeutung zu, da der Erosionsmechanismus auf thermophysikalischen Vorgängen beruht und daher das Festigkeitsverhalten eines Bauteils nachteilig beeinflusst werden kann.