

# Oberflächenbehandlung von Schweißdrähten ER70S6 und deren Auswirkung auf die Schweißigenschaften.

*Bert Breidenbend, Richard Fichtner, Peter Terliesner, GEO-Reinigungstechnik GmbH, Gescher*

Um den Einfluss einer Reinigung, hier exemplarisch der „porentiefen“ Reinigung mit nasschemischen Verfahren, darzustellen, hat die GEO-Reinigungstechnik (GEO) Reinigungs- und Beschichtungsversuche mit unbeschichteten und beschichteten Drähten unterschiedlicher Hersteller durchgeführt. Im Anschluss wurden die Eigenschaften auf einem GEO eigenen Schweißprüfplatz (WWTE) verglichen und dokumentiert. Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

Schweißdrähte vom Typ ER70S6 (nach AWS, entspricht etwa G3Si1/G4Si1 nach DIN EN ISO 14341-A) werden in kupferfreier und in verkupfelter Ausführung angeboten. Die Schweißigenschaften dieses häufig genutzten Drahtes, namentlich vor allem die Prozessinstabilitäten und deren mögliche Ursachen beim MSG-Schweißen, sind eingehend untersucht und die Komplexität des Themas in zahlreichen Publikationen [1-5] erläutert worden. In der Praxis werden für die Prozessinstabilitäten wiederholt die Fördereigenschaften der Drahtelektrode verantwortlich gemacht.

Maßnahmen der Hersteller zur Optimierung der Drahtoberfläche mit dem Ziel, die Übernahme der Schweißenergie in der Kontaktspitze bei schlechter Förderkonstanz zu verbessern, bleiben vielfach ohne Wirkung [5,6].

Um den Förderwiderstand zu verringern, greifen viele Schweißdrahthersteller auf eine Beschichtung der fertigen Drähte zurück. Über die Auswirkung verschiedener Beschichtungsmittel auf die Schweißigenschaften gibt es zahlreiche interne Untersuchungen der Hersteller. Ob aber letztendlich für die Beurteilung der Schweißergebnisse die Beschichtung alleine herangezogen werden kann, lässt sich nicht mit letzter Gewissheit ermitteln.

Häufig werden ca. 20 – 60 mg/m<sup>2</sup> an Beschichtungsmittel auf Drahtoberflächen aufgetragen, auf denen sich in der Regel, je nach Vorbehandlung, noch eine Kohlenwasserstoffmenge von 10 -100 mg/m<sup>2</sup> aus Ziehmittelresten befindet. Es ist anzunehmen, dass diese Ziehmittelreste auf dem Draht eine dauerhaft gleichförmige Zufuhr des Schweißdrahtes zur Schmelzzone und somit auch das Schweißergebnis entscheidend beeinflussen.

## **Messungen am Schweißprüfplatz (WWTE):**

Für die Beurteilung der Schweißigenschaften der Drähte wurden die folgenden Parameter sowohl ohne Schweißen als auch während des Schweißens simultan aufgenommen und auf der Zeitachse übereinander dargestellt:

- Förderwiderstand F (in Newton);
- Schweißstrom I (in Amper);
- Schweißspannung U (in Volt);
- Drahtgeschwindigkeit S<sub>2</sub> (in m/min) direkt nach den Förderrollen. Die Höhe der Standardabweichung  $\sigma_{S_2}$  dieser Drahtgeschwindigkeit ist ein Indiz für den Schlupf in den Förderrollen;

- Drahtgeschwindigkeit S3 (in m/min) direkt vor der Schweißpistole. Die Höhe der Standardabweichung  $\sigma_{S3}$  dieser Drahtgeschwindigkeit ist ein Indiz für Kontakt -bzw. Gleitprobleme des Drahtes in der Kontaktspitze (Stromkontaktröhre).

Anschließend wurden die Werte verglichen und statistisch ausgewertet.

Aus dem Vergleich der Messwerte während des Schweißens mit denen ohne Schweißen können Rückschlüsse über den Ursprung von Prozessinstabilitäten gewonnen werden.

Bild 1 zeigt das Protokoll der an GEO's Schweißmessplatz aufgenommenen Messkurven eines aus dem Handel erworbenen Drahtes (ARISTOROD 12.50).

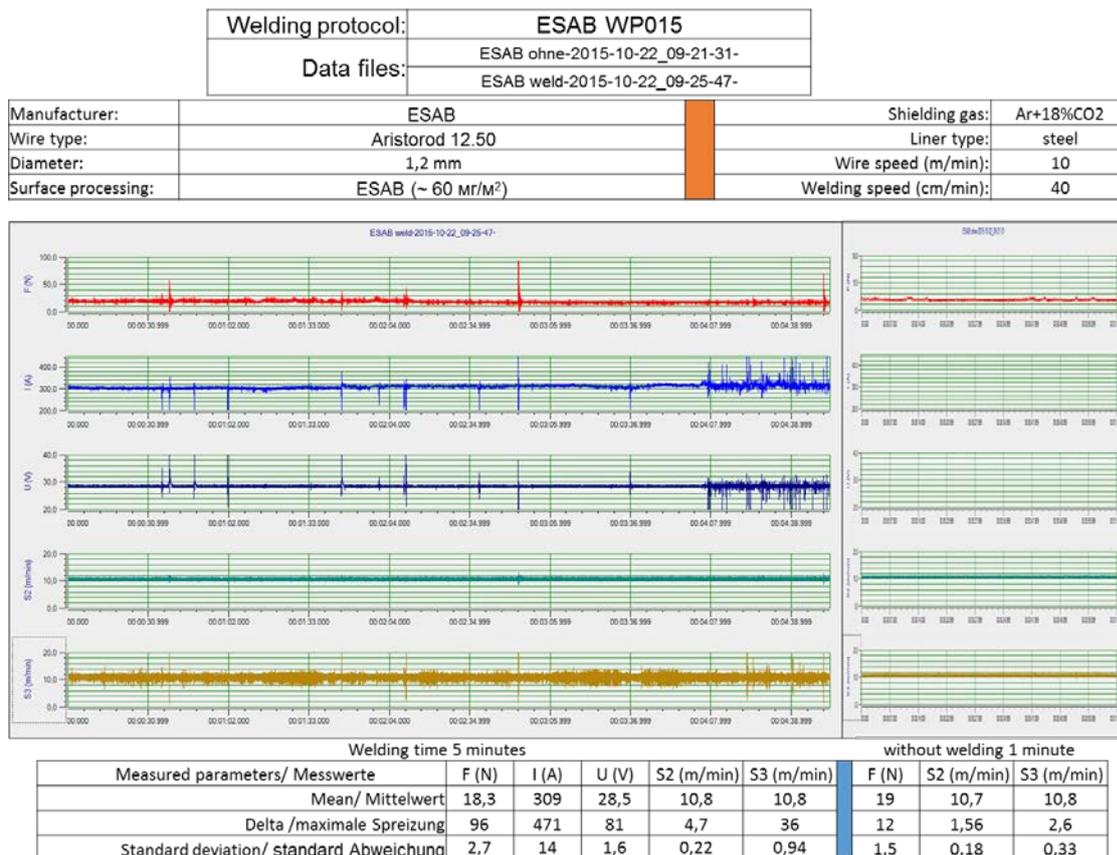


Bild 1: Beispiel eines Schweißprotokolls.

Links - Messkurven während des Schweißens (5 Minuten);

rechts - ohne Schweißen (1 Minute)

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in der Folge zum Vergleich nur die Messkurven für den Förderwiderstand F (N) und die Drahtgeschwindigkeiten S2 und S3 herangezogen.

### Kupferfreie Drähte (Blankdrähte)

Zur Reduzierung von Ziehmittelresten und Metallpartikeln nach dem Ziehprozess werden kupferfreie Drähte (Blankdrähte) häufig mit mechanischen Reinigungsverfahren mit Bürsten oder textilen Reinigungsmitteln [7] gereinigt. Die Ziehmittelreste werden durch diese Verfahren jedoch nur von der sichtbaren „Drahtoberfläche“ entfernt, tiefere Schichten bleiben unberührt. Auch der bei einigen Drahtherstellern gebräuchliche Einsatz von Flüssigkeiten im letzten Ziehstein schafft in diesem Fall keine Abhilfe. Zwar werden hierdurch die

meisten trockenen Ziehmittel (Ca oder Na Seifen) schon im Ziehprozess von der sichtbaren „Oberfläche“ entfernt, die in der Tiefe, in Rissen und Defekten eingebetteten, verbleiben aber.

Bei den untersuchten Drähten war die Oberflächenbeschaffenheit der Blankdrähte in der Regel viel schlechter als bei den verkupferten Drähten (Bilder 2 und 3).

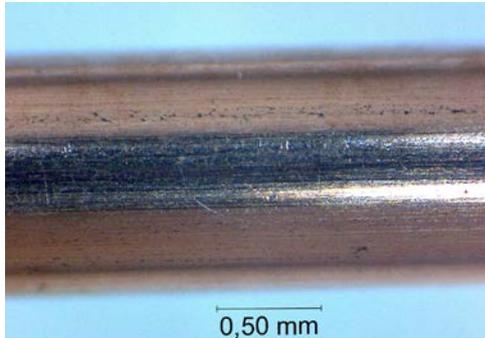


Bild 2: Oberfläche des verkupferten Drahtes

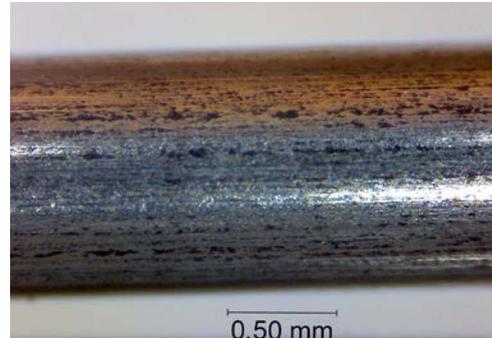


Bild 3: Oberfläche des nicht verkupferten Blankdrahtes

Ohne Schweißen zeigen die Messwerte für den Förderwiderstand und die Drahtgeschwindigkeiten S2 und S3 ähnliche Werte. Beim Schweißen waren jedoch - trotz nahezu gleichem Förderwiderstand - die Schwankungen der Drahtgeschwindigkeit S3 an der Schweißpistole bei den Blankdrähten viel geringer als bei den verkupferten Drähten (Bilder 4 und 5).

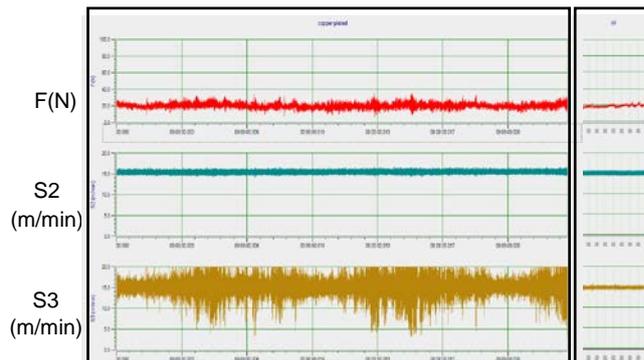


Bild 4: Messkurven eines verkupferten Drahtes beim Schweißen mit 350A,  $\sigma_{S3}= 2,22 \text{ m/min}$  und ohne Schweißen,  $\sigma_{S3}= 0,22 \text{ m/min}$

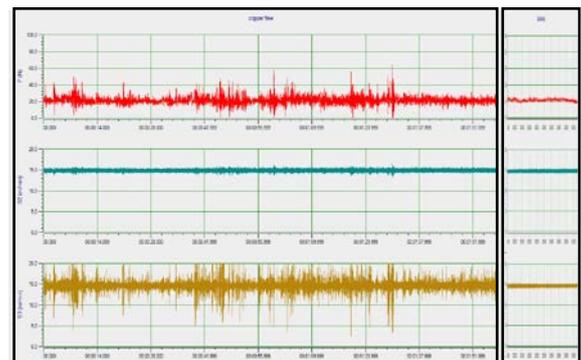


Bild 5: Messkurven eines Blankdrahtes beim Schweißen mit 350A,  $\sigma_{S3}= 1,20 \text{ m/min}$  und ohne Schweißen,  $\sigma_{S3}= 0,25 \text{ m/min}$

Diese Schwankungen treten nur während des Schweißens in der Schweißpistole auf und sind somit dem Stromübergang in der Kontaktspitze zuzuordnen. In der Praxis werden solche Schwankungen der Drahtgeschwindigkeit vom Schweißer als Vibrationen wahrgenommen und den schlechten Fördereigenschaften zugeordnet.

Dieses Phänomen ist auf den ersten Blick unverständlich, zumal bei den verkupferten Drähten aufgrund des geringeren spezifischen Widerstands des Kupfers (im Vergleich zu Stahl etwa 1/10 oder weniger) der Kontaktwiderstand im Vergleich zu den Blankdrähten geringer ist und die verkupferten Drähte eine bessere Oberflächenbeschaffenheit haben (Bilder 2 und 3). Im weiteren Verlauf der Betrachtung wird dokumentiert, dass Restschmierstoffe auf den Drahtoberflächen einen erheblichen Einfluss auf die Materialeigenschaften und die Kontaktspitze haben.

Die Bilder (6 -9) zeigen Drahtenden verschiedener Blankdrähte (unverkupfertes ER70S-6, hochlegierter

Fülldraht AWS A5.22 ER308LT0-1/DIN EN 12073 T 19 9 L R C 3, Fülldrähte DW100-KS und „TriCor 25 FCW“/niedriglegierter Schweißpulverfülldraht), die nach dem Schweißprozess aus dem Bereich der Kontaktspitze entnommen wurden. Auf allen Drahtenden sind deutlich Mikroschweißnähte zu erkennen.

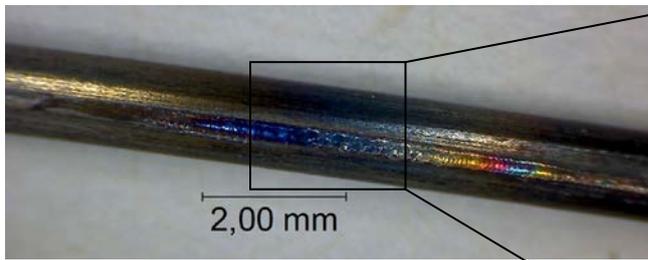


Bild 6: Die Mikroschweißnaht an der Kontaktstelle aus der Kontaktspitze (Bild 10).

Massivdraht ER70S6, Menge der Verschmutzungen:  
 Gesamt- ca. 900 mg/m<sup>2</sup>  
 CH-Menge- ca. 150 mg/m<sup>2</sup>

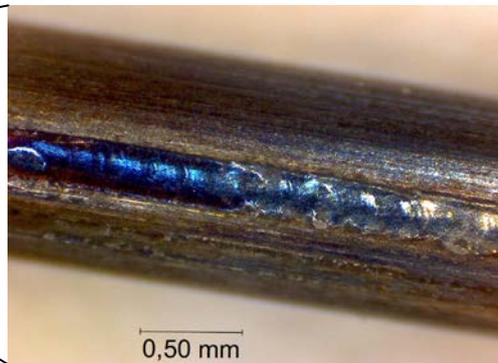


Bild 6.1: vergrößerte Darstellung aus Bild 6

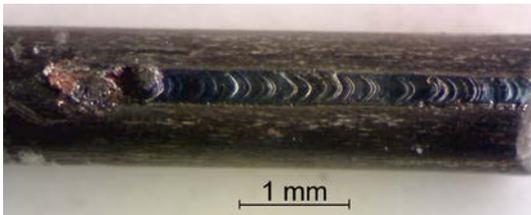


Bild 7: Die Mikroschweißnaht an der Kontaktstelle am Fülldraht Ø1,4 mm. Gezogen mit Ca- und Na – Seifen, Rest C H-Menge ca. 300 mg/m<sup>2</sup>

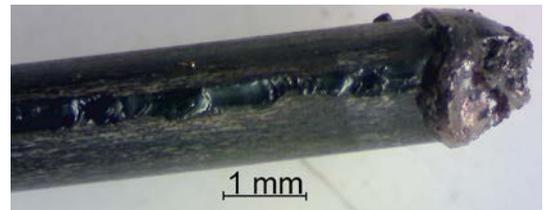


Bild 8: Mikroschweißnaht am Ende eines Fülldrahtes Ø1,6 mm. Restziehmittel Graphit.



Bild 9: Mehrere Mikroschweißnähte an einem hochlegierten Fülldraht Ø1,4 mm. Der Draht war gereinigt und ist anschliessend mit Graphit beschichtet worden.

In anderen Untersuchungen [5] wird die Entstehung der Mikroschweißnähte auf den Verschleiß der Kontaktspitze zurückgeführt. Der Verschleiß wiederum wird von „topografischen Unregelmäßigkeiten der Drahtoberfläche sowie Belägen aus Verunreinigungs- und Beschichtungsstoffen mit schlechten elektrischen Eigenschaften, die den Übergangswiderstand zwischen Drahtoberfläche und Kontaktspitze erhöhen“ [5], generiert.

Die auf den Bildern 5-9 dargestellten Mikroschweißnähte sind jedoch beim Schweißen mit neuen Kontaktspitzen entstanden. An den Kontaktspitzen war kein Verschleiß (Bild 10), sondern es waren nach einer längeren Schweißzeit von ca. 20 Minuten eher Ablagerungen zu sehen (Bilder 11 und 12).

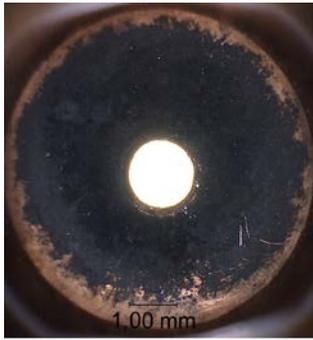


Bild 10: Kontaktspitze nach dem Schweißversuch mit Draht aus Bild 5. Schweißdauer 5 min

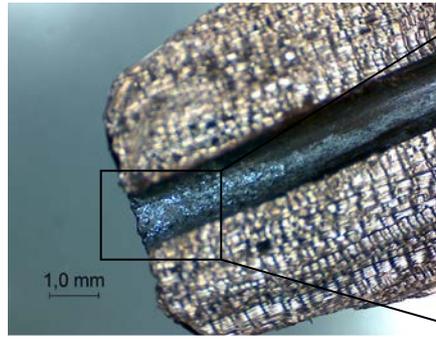


Bild 11: Aufgeschnittene Kontaktspitze nach dem Schweißversuch mit Draht aus Bild 7. Schweißdauer ca. 20 min

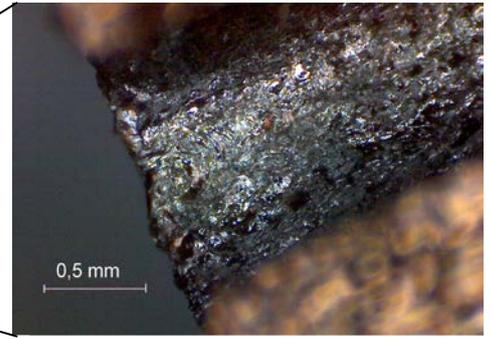


Bild 12: vergrößerte Darstellung aus Bild 11

Die Ursache für die Entstehung der Mikroschweißnähte ist unseres Erachtens nicht im Verschleiß der Kontaktspitze, sondern in den bereits zitierten „topografischen Unregelmäßigkeiten der Drahtoberfläche sowie Belägen aus Verunreinigungs- und Beschichtungsstoffen mit schlechten elektrischen Eigenschaften“ [5], zu suchen. Die unter den Bildern 6 und 7 aufgeführten Mengen an Restziehmitteln legen nahe, dass diese Reste dazu führen, dass der Stromübergang im Inneren der Kontaktspitze überwiegend über einen permanenten Mikrolichtbogen und nicht über einen metallischen Kontakt stattgefunden hat. Dieser permanente Mikrolichtbogen hat zur Entstehung der Mikroschweißnähte geführt.

Erkennbar hat ein Stromübergang durch einen Mikrolichtbogen einen deutlich erhöhten Spannungsabfall und die Erhitzung der Kontaktspitze zur Folge. Abhängig von der Beschaffenheit der Drahtoberfläche und sowie der Menge und Verteilung der Beschichtung, kann sich die Stromübertragung während des Schweißprozesses mehrmals vom metallischen Kontakt zum Lichtbogen und zurück ändern. Dies zeigt die Messkurve für den Spannungsabfall (Bild 13).

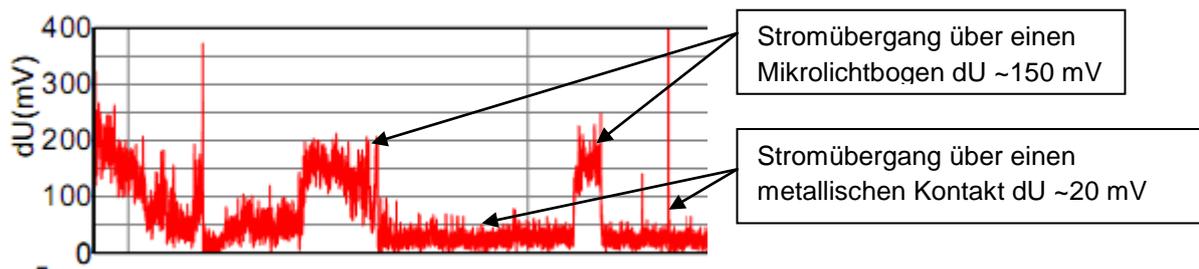


Bild 13: Spannungsabfall in einer Kontaktspitze während des Schweißens

Um den Einfluss der Zieh- bzw. Beschichtungsmittel als Ursache für die Entstehung der Mikroschweißnähte zu dokumentieren, ist der Blankdraht (Drahtoberfläche auf Bilder 3, 6 und 6.1) vor weiteren Untersuchungen im Durchlauf mit Ultraschall „porentief“ gereinigt worden. Der gereinigte Draht hinterließ beim Abreiben mit einem mit Waschbenzin benetzten weißen Filterpapier keinen Abstrich und es konnte beim Erhitzen auf  $>700$  °C keinerlei Rauch beobachtet werden, beides klare Indizien für eine nahezu rückstandsfrei gereinigte Oberfläche. Die Schweißversuche mit diesem gereinigten Draht generierten keine Mikroschweißnähte am Kontaktübergang mehr. In wenigen Fällen wurde eine Erosion an der Kontaktstelle beobachtet (Bilder 14 und 14.1). Bei einigen der untersuchten Drähte war die Kontaktstelle optisch nicht mehr feststellbar.

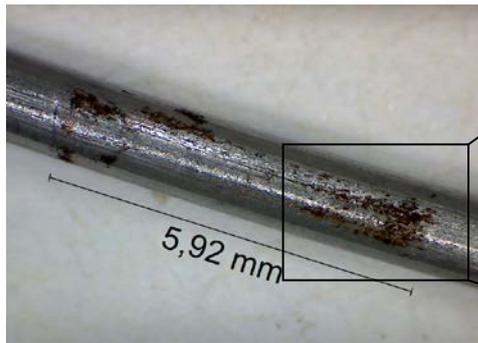


Bild 14: Typisches Aussehen einer Kontaktstelle (aus der Mitte der Kontaktspitze) nach einer Stromübertragung mit metallischem Kontakt

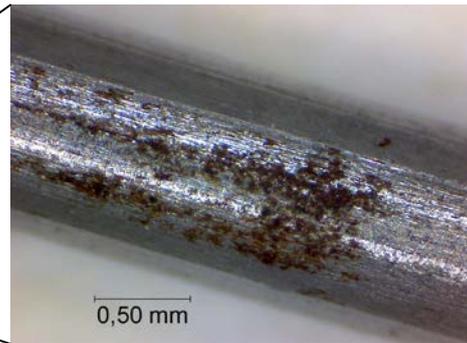


Bild 14.1: Ausschnitt aus Bild 14

Bei sehr sauberen Drahtoberflächen ist der Stromübergang somit ausschließlich über den metallischen Kontakt erfolgt. Die „porentiefe“ Reinigung des Drahtes führt also nachweislich zu einer messbaren Verbesserung der Kontakteigenschaften. Positiv macht sich dies, trotz einer gleichzeitigen, signifikanten Erhöhung des Förderwiderstandes (von 22 N auf 39 N), in einer deutlichen Reduzierung der Schwankungen der Drahtgeschwindigkeit an der Schweißpistole S3 bemerkbar (Bilder 15 und 16).

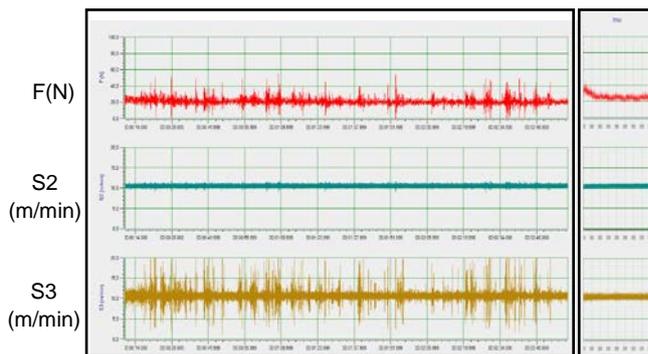


Bild 15: Messkurven aus Schweißversuchen am Blankdraht ER70S6, Ø1,2 mm (Kontaktpunkt wie auf Bilder 6 und 6.1).

Beim Schweißen mit Schweißstrom 300A

Mittelwert Förderwiderstand  $F = 22 \text{ N}$

Drahtgeschwindigkeit 10,5 m/min

Standardabweichungen:

$\sigma_{S2} = 0,24 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3} = 1,57 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

Ohne Schweißen:

$\sigma_{S2} = 0,21 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3} = 0,36 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

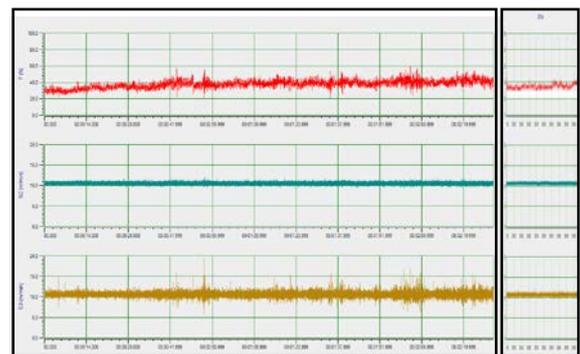


Bild 16: Messkurven aus Schweißversuchen mit dem gleichen Blankdraht ER70S6, Ø1,2 mm nach der „porentiefen“ Reinigung mit Ultraschall (Kontaktpunkt wie auf Bilder 14 und 14.1)

Beim Schweißen mit Schweißstrom 300A

Mittelwert Förderwiderstand  $F = 39 \text{ N}$

Drahtgeschwindigkeit 10,5 m/min

Standardabweichungen:

$\sigma_{S2} = 0,21 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3} = 0,8 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

Ohne Schweißen:

$\sigma_{S2} = 0,19 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3} = 0,32 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

Im weiteren Verlauf der Schweißversuche mit dem gereinigten Draht wurden sporadisch hohe Vibrationen festgestellt (Bild 17), teilweise auch in Verbindung mit „Verschweißungen“ der Drähte in der Kontaktspitze (Bild 19).

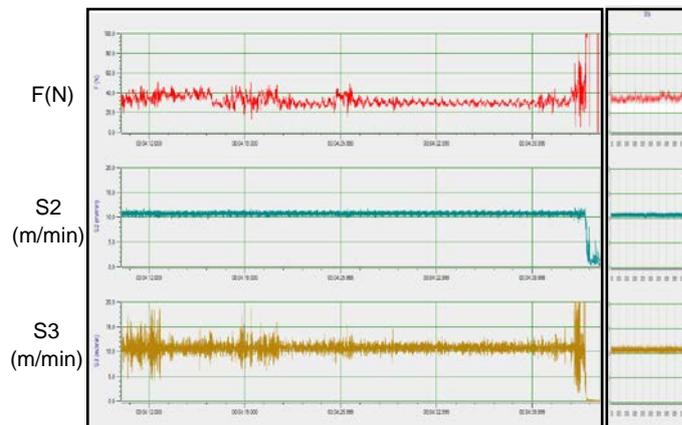


Bild 17: Messkurven eines weiteren Schweißabschnitts vom gleichen Draht wie auf Bild 16. Der Draht ist in der Kontaktspitze blockiert. Hierdurch wurde der Schweißprozess gestoppt. Die Bilder 19 und 21 zeigen den Kontaktpunkt am Draht aus der betroffenen Kontaktspitze.

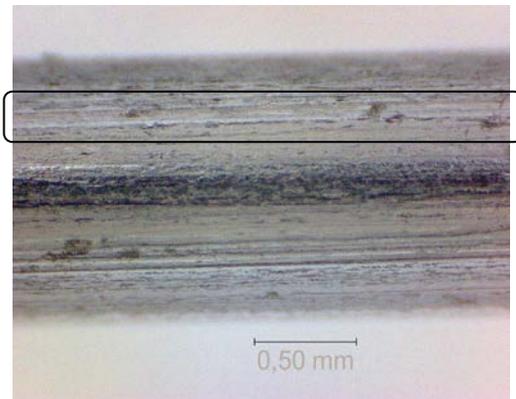


Bild 18: grobe Oberflächenbeschädigungen (Schweißversuch auf Bild 17). Es ist eine eingedrückte Rille mit etwa 10 µm Breite und 2 µm Tiefe mit überstehenden Rändern zu sehen, die sich auf eine Länge von ungefähr 80 cm erstreckt.

Als Ursache für diese Vibrationen konnten eindeutig Stellen mit groben Oberflächendefekten verifiziert werden (Bild 18). Diese groben Defekte in der Drahtoberfläche führen zu einer Verringerung der Kontaktoberfläche des Drahtes in der Kontaktspitze und als Folge

- zum plötzlichen Stromabfall
- zum Eintauchen des Drahtes in das Schmelzbad mit Spritzerbildung und entsprechenden Ausschlägen in den Messkurven
- zur Erhöhung der Spannung und Bildung eines Lichtbogens mit Metallschmelzung an der Kontaktstelle im Inneren der Kontaktspitze und zur unmittelbaren Erstarrung des geschmolzenen Metalls zu einem Hindernis für den Drahtvorschub (Bilder 19 -21)
- zum Drahtstopp und Abschmelzen des Drahtes bis zur Kontaktspitze

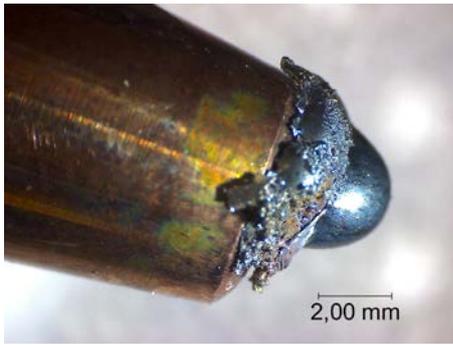


Bild 19: Kontaktspitze mit dem innen „verschweißten“ und aussen abgebrannten Draht.

Gleicher Draht wie auf Bild 18.

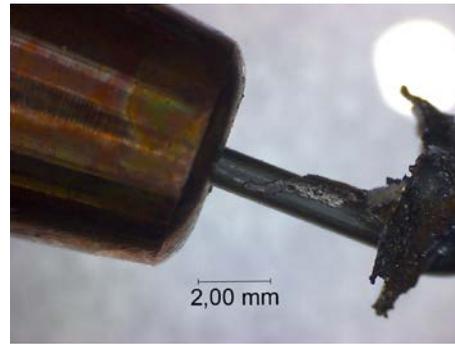


Bild 20: gleiche Kontaktspitze, durch Drücken von der Rückseite aus der Kontaktspitze herausgedrückter Draht

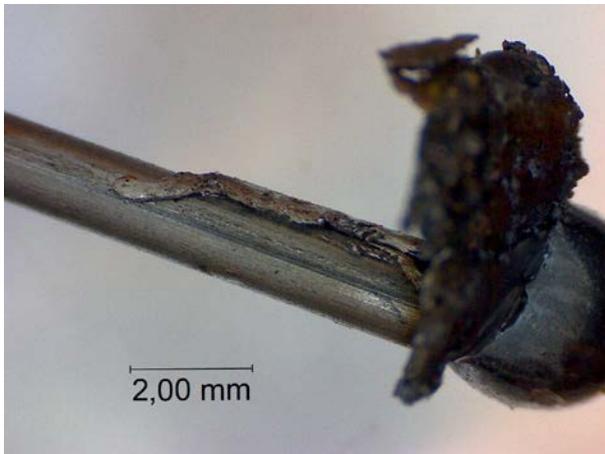


Bild 21: in der Vergrößerung sichtbare, eingedrückte Rille und Stelle der Lichtbogenentstehung – erkennbar ist, dass der Draht nicht mit der Kontaktspitze verbunden war, sondern die große Menge des erstarrten Metalls die Fortbewegung des Drahts in der Bohrung des Stromkontaktrohrs blockiert hat..

Durch das Auftragen einer geringen Menge ( $< 15 \text{ mg/m}^2$ ) des speziellen Gleitmittels „WWF-U300“ von GEO konnten die Vibrationen und der Förderwiderstand noch einmal deutlich verringert werden (Bild 22). Das verwendete Gleitmittel sichert gleichbleibende Gleiteigenschaften auch bei hohen Temperaturen und verhindert als Antiadhäsionsmittel gleichzeitig das Haften. Bei Langzeit-Schweißversuchen wurden zwar noch sporadische Ausschläge in den Messkurven beobachtet, das Blockieren des Drahtes in der Kontaktspitze wurde aber vollständig eliminiert.

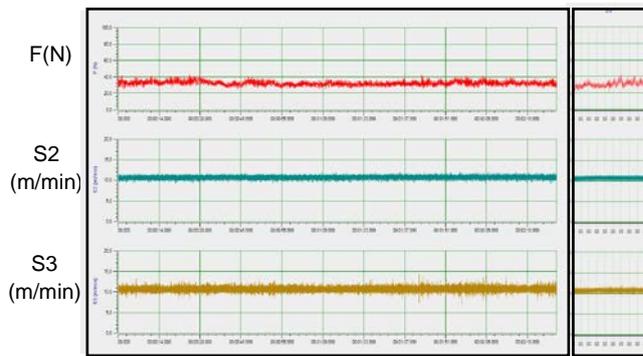


Bild 22: Messkurven für Blankdraht nach „porentiefer“ Reinigung mit Ultraschall und anschließender Beschichtung mit WWF-U300 ( $< 10 \text{ mg/m}^2$ ).

Mittelwert Förderwiderstand  $F=32 \text{ N}$

Drahtgeschwindigkeit  $10,5 \text{ m/min}$

Standardabweichungen:

$\sigma_{S2}= 0,25 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3}= 0,52 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

Ohne Schweißen:

$\sigma_{S2}= 0,22 \text{ m/min}$  (nach den Förderrollen)

$\sigma_{S3}= 0,34 \text{ m/min}$  (an der Schweißpistole)

Der Kontaktpunkt in der Kontaktspitze war optisch nicht festzustellen.

## Verkupferte Drähte

Die Versuchsreihen mit ungereinigten, verkupferten Drähten ergaben, wie schon oben erwähnt, dass beim Schweißen die Vibrationen bzw. die Werte der Standardabweichungen der Drahtgeschwindigkeit  $\sigma_{S3}$  auch bei sehr geringen Förderwiderständen immer höher waren, als beim Schweißen mit den Blankdrähten (Bilder 2 und 3).

Durch den Auftrag einer geringen Menge Gleitmittel WWF-U300 ( $< 10 \text{ mg/m}^2$ ) ließ sich zwar das „Verschweißen“ in der Kontaktspitze verhindern, die Vibrationen aber ließen sich nicht merklich verringern.

Angesichts der im Vergleich zum Stahl zehnfach höheren Leitfähigkeit des Kupfers und damit einhergehend eines viel geringeren Spannungsabfalls in der Kontaktspitze (wie in anderen Untersuchungen belegt [10]), ist wie schon oben erwähnt, dieses Phänomen auf den ersten Blick unverständlich, zumal auch die Drahtoberfläche des verkupferten Drahtes unter dem Mikroskop weniger Defekte zeigt (Bilder 2 und 3). Zur Klärung des Sachverhalts wurde der verkupferte Draht, analog zu dem Blankdraht, ebenfalls einer „porentiefen“ Reinigung mit Ultraschall unterzogen. Das Bild 23 dokumentiert, dass Kupfer ohne Bindung und Kontakt zur Oberfläche durch die Ultraschallreinigung entfernt wurde. Hierdurch werden zuvor verborgene Drahtoberflächendefekte sichtbar.

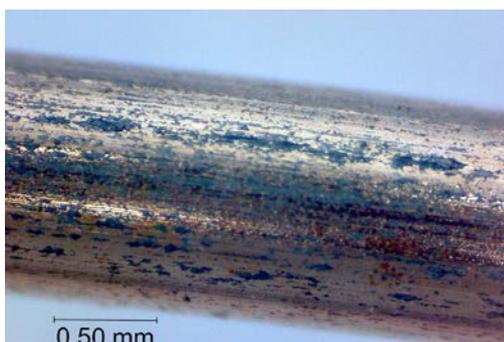


Bild 23: Oberfläche des gleichen verkupferten Drahtes wie auf Bild 2 nach der „porentiefen“ Ultraschallreinigung.

Die anschließende Schweißversuche belegen, dass sich trotz einer offensichtlich schlechteren Oberfläche und erhöhtem Förderwiderstand die Vibrationen bzw. die Werte der Standardabweichungen der Drahtgeschwindigkeit  $\sigma_{S3}$  nach der Reinigung signifikant verringert haben (Bild 24).

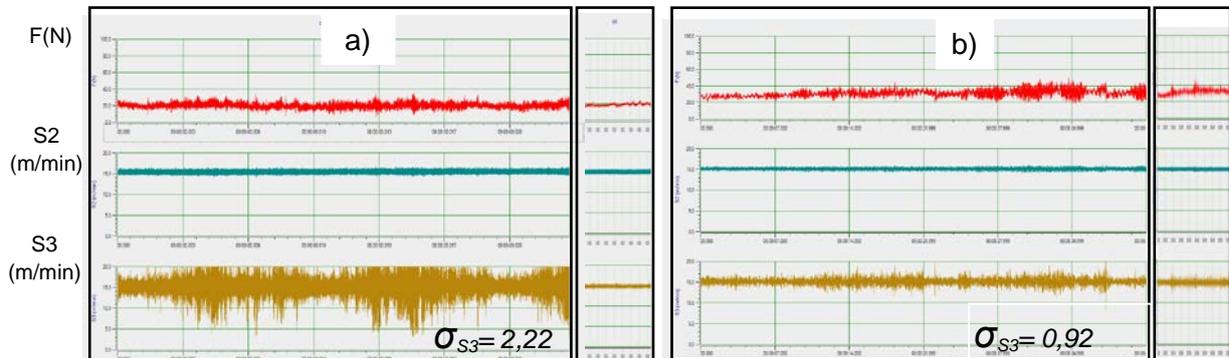


Bild 24: Vergleich der Messkurven des verkupferten Drahtes

- a) Zustand entsprechend Bild 2
- b) Nach der „porentiefen“ Reinigung, Zustand entsprechend Bild 23.

Des Weiteren geben die Versuchsergebnisse Grund zu der Annahme, dass die Kupferschicht keine wirklich gleichmäßig metallische Verbindung mit der Drahtoberfläche bildet. Sehr wahrscheinlich laufen die Prozesse in der Kontaktspitze dergestalt ab, dass zuerst die dünne Kupferschicht über einem Oberflächendefekt ohne feste Bindung zu Drahtoberfläche beim Stromübergang am Kontaktpunkt schmilzt und in der Folge an der Wand des Kanals der Kontaktspitze anhaftet (Kupfer an Kupfer). Aufgrund der relativ schnellen Bewegung des Drahtes erfolgt die Haftung allerdings nicht mehr an der heißen Stelle des Stromüberganges, sondern an einer kälteren Stelle in Richtung der Drahtbewegung. Dort bildet sich eine Metallablagerung, die die Reibung kurzfristig erhöht und sich bei der Messung der Drahtgeschwindigkeit und beim Schweißser als Vibration bemerkbar macht. Dieses Szenario belegen auch die Bilder 25 und 26.

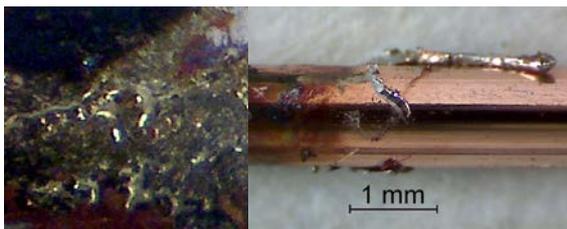


Bild 25: geschmolzenes Kupfer auf der Drahtoberfläche aus der Kontaktspitze



Bild 26: Kupferablagerungen in der Kontaktspitze (liegen in ca. 3 mm Tiefe)

Die Vibrationen lassen sich z.B. auch durch die Anwendung einer hohen Menge an Graphit verringern (Bild 27). Für den entsprechenden Versuch wurde dies durch die komplette Füllung der Förderspirale mit Graphit erzielt. Der Effekt war jedoch nur für den Zeitraum messbar, in dem ausreichend Graphit im Schlauch vorhanden war. Mit der Verringerung der Graphitmenge erhöhten sich auch die Vibrationen. Der Vorteil von Graphit liegt in der Abwesenheit von Wasserstoff.

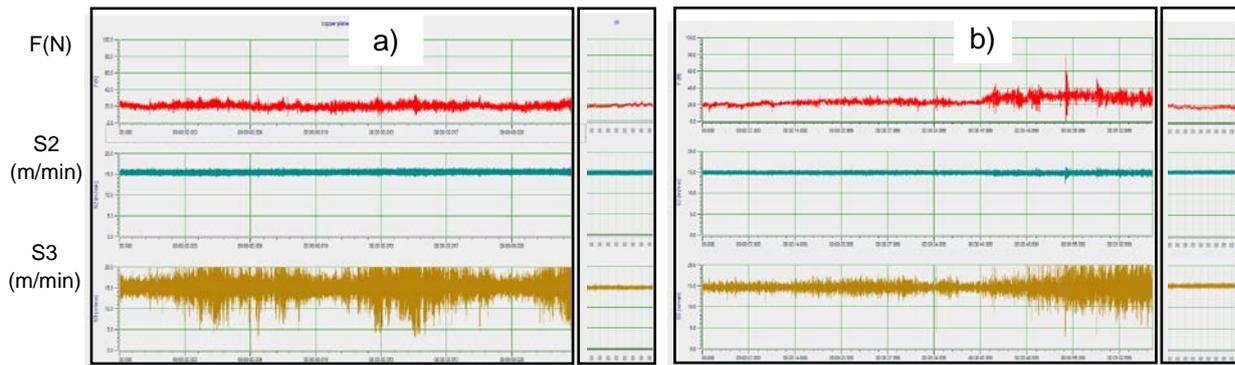


Bild 27: Vergleich der Messkurven des verkupferten Drahtes:

- a) Förderung in der Standard-Stahlseele
- b) Förderung in der grafitgefüllten Stahlseele – gut zu sehen ist, dass sich nach etwa 1 min Schweißzeit mit der Verringerung der Graphitmenge auch die Vibrationen erhöhen.

Noch nach ca. 3-minütiger Laufzeit und einer weiteren Verringerung der Graphitmenge sind aus dem Schweißversuch stammende Graphitreste auf dem Draht zu sehen (Bild 28)

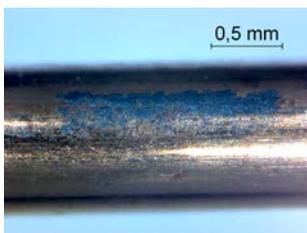


Bild 28: eine etwa 15 bis 20  $\mu\text{m}$  dicke Graphitschicht auf der Drahtoberfläche. Draht entnommen aus der mit Grafit gefüllten Förderseele nach dem Schweißversuch Bild 27b.

## Resümee

Bei unverkupferten Drähten kann die gleichmäßige Verteilung und gleichzeitige Reduzierung der Ziehmittelreste, bzw. der zusätzlicher Auftrag eines Beschichtungsmittels zu guten, spritzer- und vibrationsarmen Schweißergebnissen führen. Dies wird allerdings durch höhere Werte des Spannungsabfalls und der Temperatur der Kontaktspitze und einen hohen Wasserstoffgehalt in der Schweißnaht erkauft.

Die „porentiefe“ Reinigung der unverkupferten Drähte mit Ultraschall (US) führt außer zu einer drastischen Reduzierung der Wasserstoffmenge zusätzlich zu

- einem sicheren metallischen Kontakt des Drahtes in der Kontaktspitze;
- einer Verringerung des Spannungsabfalles in der Kontaktspitze und deren Erhitzung;
- der Verringerung der Vibrationen und der Verbesserung der Schweißigenschaften.

Die negativen Auswirkungen „grober“ Oberflächenfehler können durch eine Beschichtung mit einem geeigneten Gleitmittel signifikant verringert werden. Bei einem Draht ohne „grobe“ Oberflächenfehler ist eine Beschichtung als Korrosionsschutz empfehlenswert.

Aus den Untersuchungen mit den verkupferten Drähten kann abgeleitet werden, dass es drei Möglichkeiten gibt, Vibrationen zu verringern bzw. zu verhindern.

- Durch entsprechende „porentiefe“ Reinigung vor der Verkupferung für eine saubere metallische Kontaktfläche bzw. eine durchgehende chemische Verbindung mit der Kupferschicht zu sorgen.
- Durch den Auftrag von Gleitmitteln (z.B. WWF-U300 mit verstärkten Antihafteigenschaften), die bei hohen Temperaturen die Gleiteigenschaften nicht verlieren und gleichzeitig als Antiadhäsionsmittel das Haften inhibieren, wird das Anhaften des Drahtes in der Kontaktspitze verhindert. Die Vibrationen können zwar nicht gänzlich eliminiert, aber doch deutlich reduziert werden.
- Durch den Auftrag einer leitfähigen Beschichtung wie z.B. Graphit kann die Kontaktfläche erhöht werden. Eine Verringerung des Kontaktwiderstandes ist aufgrund des höheren spezifischen Widerstands von Graphit hingegen nicht zu erwarten. Hierzu wäre der Auftrag einer in der Praxis unrealistischen Menge erforderlich. Bei Auftrag einer realistisch großen Menge ist eher mit einer Erhöhung des Kontaktwiderstandes zu rechnen. Der positive Effekt der Beschichtung mit Graphit beruht auf den im Vergleich zu den oben genannten Gleitmitteln ähnlichen Eigenschaften und dem Vorteil der Wasserstoffabwesenheit.

Die Untersuchungen belegen, dass eine „porentiefe“ Reinigung der Drahtoberflächen für die Schweißdrähte generell zu empfehlen ist.

Die Untersuchungen wurden bei der Fa. GEO-Reinigungstechnik GmbH unter der Leitung von Herrn Richard Fichtner auf Messanlage WWTE durchgeführt.

## Literatur und Quellenangaben

1. Aichele, G.: Massivdrahtelektroden für das MAG-Schweißen unlegierter und niedriglegierter Stähle. Schweißtechnik (Wien) 37 (1983) H. 3, S.66/70.
2. Killing, R.: Qualitätsmerkmale von Drahtelektroden für das MAG-Schweißen. Der Praktiker 25 (1973) H. 9, S.190/93
3. Hauk, G.: Qualitätsanforderungen an Drahtelektroden beim Schutzgasschweißen mit Robotern. DVS-Bericht 118, S. 71/76. DVS-Verlag, Düsseldorf 1989.
4. Cramer, R.: Betrachtungen über Stromdüsen beim Schutzgasschweißen. Schweißtechnik (Wien) 42 (1988) H 9, S. 195/96
5. M. Zinke; J. Schröder: Erhöhung der Prozessstabilität beim MSG-Schweißen von hochlegierten Werkstoffen über die Drahtelektrode. <https://forschung-sachsen-anhalt.de/project/erhoehung-prozessstabilitaet-beim-msg-1628>
6. Tammi, V., u. M. Dios: Reibkraftmessung in Schutzgas-Schweißbrennern-die optimale Drahtförderung. Sonderdruck A.Binzel Schweißtechnik. Gießen 1989

7. B. Breidenbend, R. Fichtner, N. Recknagel, P. Terliesner (GEO-Reinigungstechnik GmbH):  
Ganzheitliche Betrachtung der Drahtreinigung im Durchlauf. Vortrag auf dem 1. Ilmenauer Drahttag,  
Mai 2015, S. 61 -72
8. Zwickert. H., u. W.Krupp: Betrachtungen zur Stromübertragung von der Kontaktdüse auf den  
Schweißdraht beim MIG/MAG-Schweißen. Schweißtechnik (Berlin)34 (1984), H. 8, S. 348/50
9. Ragnar Holm: Die technische Physik der elektrischen Kontakte. Springer-Verlag, 2013, ISBN  
3662424916, 9783662424919
10. K. Boockmann, M. Boockmann, G. Boockmann, R. Fichtner (Boockmann GmbH):  
Evaluation of Welding Wire Finishing. Excerpt of a paper held at Fabtech 2012, November 13, 2012,  
Las Vegas, Nevada, Session10: Applied Technologies, Page 1 of 9
11. Колмогоров, Дмитрий Евгеньевич: Ресурсосбережение контактных наконечников сварочных  
горелок, применяемых при механизированной сварке в углекислом газе. Диссертация на  
соискание уч. Степени кандидата тех. Наук, Томск 2006.  
<http://www.dissercat.com/content/resursosberezhenie-kontaktnykh-nakonechnikov-svarochnykh-gorelok-primenyaemykh-pri-mekhanizi>