

## Über Schweißdrahtoberflächen und ihre Wirkung auf das MSG- und WIG-Verfahren

R. Fichtner, Bad Neustadt  
P. Terliesner, Ahaus  
A. Borner, Duisburg  
K. Niepold, Mülheim an der Ruhr

Mit dem bloßen Auge kaum erkennbar und daher oft unterschätzt: Die Oberflächenbeschaffenheit von Schweißdrähten hat einen starken Einfluss auf die Fördereigenschaften, die Stromkontaktierung, die Lichtbogenstabilität und das Schweißergebnis.

Anhand von Messdaten und hochauflösenden Bildern wird versucht, Antworten auf folgende Fragen zu finden: Sind matte oder glänzende Oberflächen besser beim MSG-Schweißen? Wie unterscheidet man bei der Wareneingangsprüfung „saubere“ von „dreckigen“ Drähten und welche Auswirkungen sind bei einer verunreinigten Drahtoberfläche beim WIG- und MAG-Schweißen zu befürchten?

### Inhalt:

1. Anforderungen an Schweißdrähte
2. Fertigungsrückstände an Drahtoberflächen und ihre Auswirkung auf den Schweißprozess
3. Auswirkungen auf den WIG-Prozess
4. Auswirkungen auf den MAG-Prozess
5. Prüfmethode zur Bewertung von Drahtoberflächen
6. Reinigungsmethoden während der Drahtherstellung
7. Stromkontaktierung von glatten und rauen bzw. matten Drähten im Vergleich
8. Ausblick

## 1 Anforderungen an Schweißdrähte

Die ständige Weiterentwicklung von Schweißdrähten ist ein essenzieller Beitrag zur Senkung von Produkt- und Schweißnahtkosten. Die Eigenschaften von Schweißdrähten haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Schweißprozess und das Schweißergebnis, an das hohe Anforderungen bezüglich Anzeigenbefund und Werkstoffeigenschaften gestellt werden. Die Anforderungen richten sich nach dem Einsatzfall und können unterschiedlich gewichtet werden:

- Günstiger Preis mit kurzen Lieferzeiten
- Unempfindlichkeit gegen Korrosion während der Lagerung und damit hohe Haltbarkeit und Verfügbarkeit
- Gute Fördereigenschaften im Drahtzuführungssystem
- Gutes Fließ- und Benetzungsverhalten beim Schweißen
- Aktiver Beitrag zur Vermeidung von Schweißnahtfehlern wie Poren und Bindefehler
- Hohe Zähigkeit bei hoher Festigkeit des Schweißgutes zur Minimierung von Nahtquerschnitten

Relativ unabhängig von diesen technischen Eigenschaften fordern Kunden zunehmend als erstes Qualitätskriterium einen „schönen glänzenden“ und sauberen Schweißdraht.

Dem optischen Erscheinungsbild des Drahtes wird zunehmend eine so hohe Bedeutung beigemessen, dass bereits kleinste auf der Oberfläche sichtbare Oberflächendefekte zu Reklamationen führen, ohne dass eine Erprobung des Schweißverhaltens überhaupt erfolgt ist.

Die Schwierigkeit bei der Optimierung der o. g. Punkte ist der wechselseitige Einfluss zwischen Schweißdraht und Schweißprozessparametern. Kommt es zu einem Drahtherstellerwechsel mit gleicher Walzdraht-Richtanalyse und wird eine Verfahrensprüfung gem. ISO 15614 mit gleichen Schweißparametern durchgeführt, wird der Einfluss der Drahtoberfläche auf den Schweißprozess und das Schweißgut deutlicher sichtbar.

## 2 Fertigungsrückstände an Drahtoberflächen und ihre Auswirkung auf den Schweißprozess

Grundsätzlich handelt es sich bei den Oberflächen von Schweißdrähten um technische Oberflächen, die bei hinreichend genauer Betrachtung eine Vielzahl von Oberflächendefekten aufweisen.

Als Vormaterial für die Herstellung von Massiv-Schweißdraht-Elektroden wird warmgewalzter Draht üblicherweise im Durchmesser 5,5 mm eingesetzt. Die Oberfläche dieses Vormaterials ist immer mit einer Zunderschicht bedeckt, die vor der Schweißdrahtfertigung entfernt werden muss. Dies erfolgt für Schweißdrähte typischerweise durch Beizen und/oder Schleifen der Drahtoberfläche. Durch die Entzunderung wird die Drahtoberfläche aufgeraut. Die erhöhte Rauheit ist für den Ziehprozess erforderlich, um eine ausreichende Schmierung der Drähte im Ziehwerkzeug sicherzustellen.

Bei Umformungsgraden bis etwa 20 % Querschnittsabnahme bleibt die Rauheit des Walzdrahtes im Wesentlichen erhalten. Bei größeren Querschnittsabnahmen, wie sie für MSG-Schweißdrähte üblich sind, dominieren die Ziehbedingungen die Rauheit des gezogenen Drahtes.

Die Drähte werden in der Zieherei mit Endgeschwindigkeiten zwischen 10 und 40 m/s (also 36-144 km/h) gefertigt. Derzeit ist keine Sensorik am Markt verfügbar, die selbst makroskopisch große Fehler (beispielsweise fehlende Verkupferung über mehrere Meter) in der Fertigung sicher detektieren könnte. Somit sind auch makroskopisch sichtbare Oberflächendefekte als Begleiterscheinungen der Drahtherstellung zu akzeptieren, solange sie das Förder- und Kontaktverhalten der Drahtelektroden nicht negativ beeinflussen.

Die auf den Endprodukten vorhandene Rest-Rauheit, darin eingelagerte Ziehmittelreste sowie gegebenenfalls in die Oberfläche eingedrückte, nichtmetallische Partikel sind als Fertigungsrückstände somit nicht nur unvermeidbar, sondern teilweise für die Drahtfertigung erforderlich.

Eine Reduzierung der für das Schweißen ungünstigen Rückstände kann durch die Prozessführung beim Drahtziehen sowie durch einen mehr oder minder großen Aufwand an Nachreinigungs-Operationen erzielt werden.

Nicht alle Fertigungsrückstände müssen als unerwünscht bezeichnet werden. Restschmierstoffe auf der Oberfläche können durchaus als Gleit- und Kontakthilfsmittel die Drahtförderung verbessern. Weiterhin ist es bei einigen Werkstoffen unumgänglich, die Drahtoberfläche mit einer basisch eingestellten Korrosionsschutzschicht zu versehen.

Entgegen der häufig immer noch geäußerten Auffassung stellt die Verkupferung keinen Korrosionsschutz der Drahtelektroden dar.

Die Verkupferung hat die Hauptaufgabe, eine gute Kontaktierung im Kontaktrohr zu ermöglichen und dient gleichzeitig als metallisches Schmiermittel im letzten Zug der Drahtherstellung und im Kontaktrohr.

Schaut man sich die Drahtoberfläche mit einem Mikroskop genauer an, sieht man Riefen vom Ziehstein, Kratzer von jedwedem Kontakt mit Führungs-, Umlenk- und Richtrollen sowie Reste von Beiz- oder Schleifrauheit.

In jeder dieser Vertiefungen werden sich im Ziehprozess Ziehmittelreste und im Falle einer unvollständigen Reinigung durch Beizen und/oder Schleifen Rückstände vom Zunder des Walzdrahtes ansammeln.

Ursachen für Zundermreste können in Walzdrahtfehlern [1], wie z. B. Riefen oder einer mangelhaften Reinigungswirkung während des Drahtzuges in der Drahtzieherei, liegen.

Da Walzdrahtzunder hart und spröde ist und die nötige Bruchdehnung für die mehrstufige Massivumformung des Drahtes nicht mitbringt, wird er während des Herstellungsprozesses aufgerissen und bruchstückhaft fein verteilt in die Oberfläche eingearbeitet. Die Oxidpartikel hängen ohne feste Bindung an der Drahtoberfläche und können sich beim späteren Drahttransport im Förderschlauch der Schweißanlage ablösen. Dabei kann es zu einer nestförmigen Ansammlung kommen. Einmal in der Drahtseele eingelagert, können sie weitere Partikel von der Drahtoberfläche bis hin zu einer Nestbildung abschaben. Löst sich ein Nest kurz vor einer Verstopfung als Ganzes vom Förderschlauch ab, kann es bei einem lokal begrenzten, deutlich sichtbaren Eintrag in die Schmelze zu anschließender Poren-, Bindefehler- und Schlackebildung kommen.

Auch aus Sicht des Drahtherstellers ist das Auftreten von Walzdraht-Zunderrückständen unerwünscht, denn die harten Partikel erhöhen den Verschleiß der Ziehsteine. Während des mehrstufigen Umformprozesses kommt es unter den auf der Drahtoberfläche eingeformten Oxidpartikeln zur Depotbildung von Ziehmittelrückständen, welche nicht mehr bzw. nur mit einem sehr großen Aufwand durch die abschließende Drahtreinigungsanlage entfernt werden können.

### 3 Auswirkungen auf den WIG-Prozess

Der WIG-Prozess zeigt die Auswirkungen einer verunreinigten Drahtoberfläche am deutlichsten, da er metallurgisch „inert“ aufgesetzt ist und eine Schlackenbildung mit anschließender Entfernung nicht vorsieht.

Es spielt dabei keine Rolle, ob die Verunreinigung von einer nicht vollständig metallisch blank beschliffenen Werkstückoberfläche oder von einer oxidisch verunreinigten Drahtoberfläche stammt.

Folgende Befunde konnten beim Schweißen und den nachfolgenden zerstörenden Prüfungen beobachtet werden:

- Schlechtes Fließverhalten und Benetzung mit der Gefahr von Bindefehlern an der Schweißnahtflanke: Steile Raupen statt wie erwünscht flache Übergänge zum Grundwerkstoff
- Größere sichtbare Poren auf der Raupenoberfläche oder versteckt unterhalb der Oberfläche als Mikroporen, welche nur durch Abschleifen der halben Lagendicke geöffnet und damit sichtbar gemacht werden können
- Unruhige Badbewegung beim Schweißen: Es bilden sich sichtbare Oxidabscheidungen in der Schmelze, welche sukzessive ausgeschieden werden, entweder als vereinzelt Schlacken auf der Raupenoberfläche oder auch als kleinere Oxidpartikel am Raupenrand
- Ansammlungen am Endkrater: Die Schlacken werden mit der Schmelzfront während der Schweißung im Endkrater aufkonzentriert und sind am Abschaltpunkt als deutliche Ansammlung in Form einer „Oxidkappe“ sichtbar
- Einlagerung von nichtmetallischen Einschlüssen (metallografische Auswertung)
- Erhöhte Festigkeit bei sehr niedriger Zähigkeit: Sauerstoff im Stahl macht ihn hart und spröde.

#### 4 Auswirkungen auf den MAG-Prozess

Die in der Drahtoberfläche eingelagerten Oxidpartikel machen sich in erster Linie bei der Stromkontaktierung negativ bemerkbar und führen durch Erhöhung der Zahl der Reibpunkte des Drahtes im Förderschlauch zur Erschwerung der Drahtförderung (s. Bilder 1 und 2). In umfangreichen Vergleichsmessungen unterschiedlicher Schweißdrähte wurde festgestellt, dass der Stromübergang in der Kontaktspitze hauptverantwortlich für die Förderprobleme ist. Da die Partikel aus der Oberfläche teilweise herausragen, erhöhen sie zusätzlich den Reibungskoeffizienten und führen zu einer erheblichen Steigerung des gesamten Förderwiderstandes bzw. der erforderlichen Förderkraft.

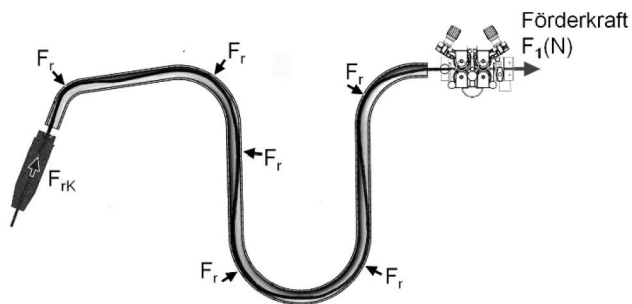


Bild 1. Drahtförderung mit normalem Reibkontakt

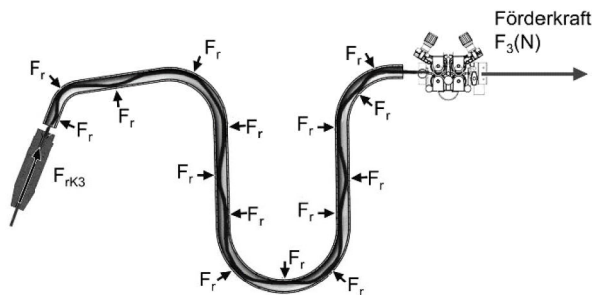


Bild 2. Drahtförderung mit erhöhtem Reibkontakt

Abhängig vom Drahtvorschubkoffersystem und der Drahtförderlänge machen störende Drahtgeschwindigkeitsschwankungen mit Slip-Stick-Effekten dem Prozess zu schaffen.

Die Folge sind mitunter starke Schwankungen der freien Drahtlänge (Stick-out) und damit Unregelmäßigkeiten der Einbrandtiefe. Bei Mehrlagenschweißungen können durch eine reduzierte Einbrandtiefe mit verminderter Zwischenlagenvergütung zonale rissempfindliche Grobkornzonen entstehen. Im Falle einer stromgeregelten Brennerabstandsregelung kommt es mitunter zu einem instabilen Regelungsverhalten mit stark schwankendem Brennerabstand und unerwünschter Spritzerbildung, welche den Verschleiß der Stromkontaktdüse erhöht.

Der beim WIG-Schweißen als nachteilig beobachtete, direkt verbleibende Eintrag von Oxidpartikeln und der damit verbundene zusätzliche Sauerstoff konnte beim MAG-Schweißen nicht beobachtet werden, da über den Aktivgasanteil im Schutzgas ohnehin generell Schlacke gebildet wird, welche anschließend entfernt wird.

#### 5 Prüfmethoden zur Bewertung von Drahtoberflächen

Leider gibt es derzeit für Drahtoberflächen noch keinen prüftechnischen Standard oder eine entsprechende Norm, die ein Anwender bei einer Bestellung von Drähten heranziehen könnte.

Während Drahtstäbe noch komplett visuell zugänglich sind, kann der Anwender bei Drahtspulen nur die obere Lage begutachten.

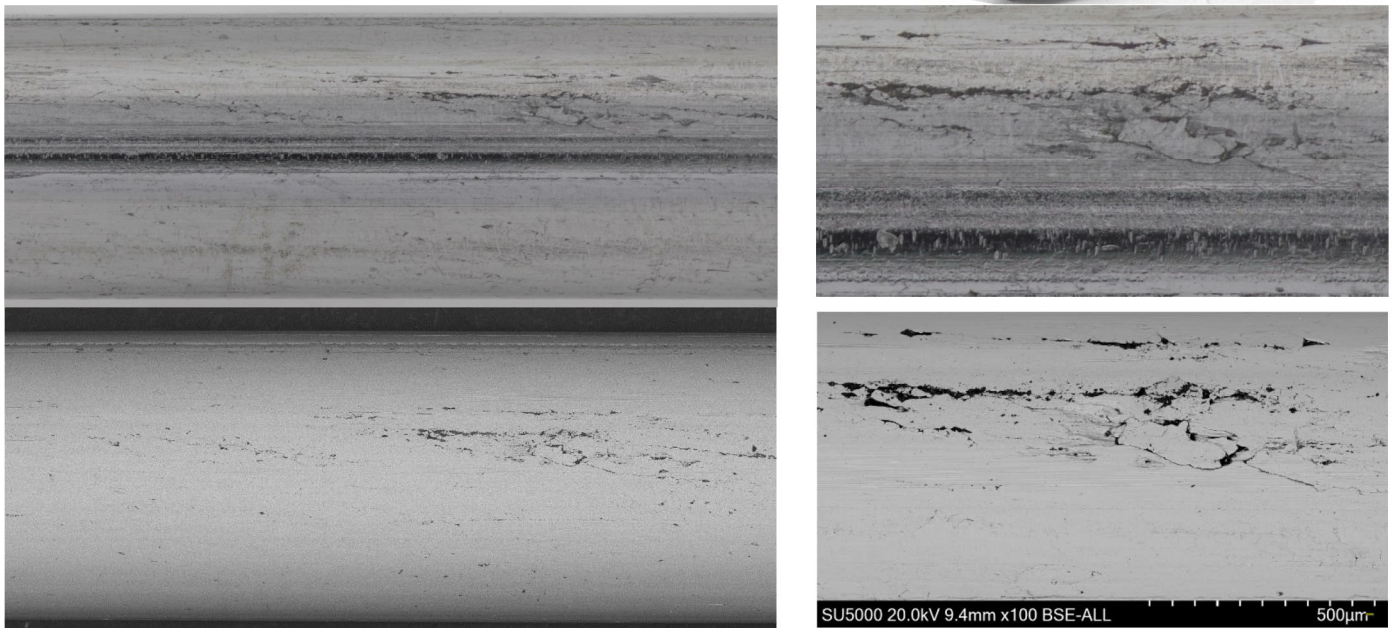
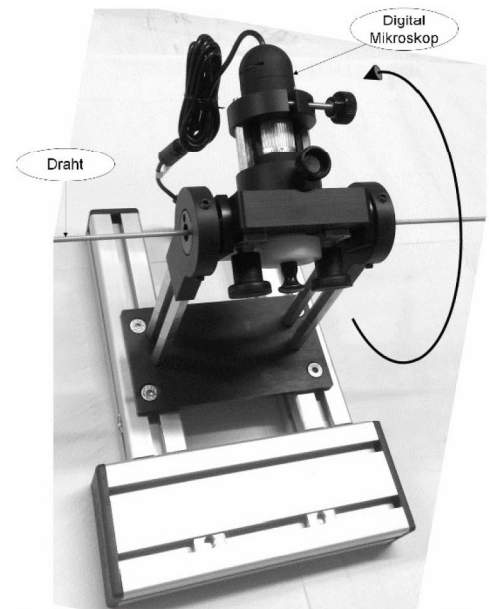
In jedem Fall handelt es sich um Stichprobenprüfungen, welche die Auswirkungen von Schwankungen oder Instabilitäten im Drahtherstellungsprozess nicht immer sicher erfassen. Den fertigungsbegleitenden Prüfungen kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

Folgende Prüfungen bieten sich während oder nach der Fertigung an:

- a) Mikroskopische Untersuchung der Drahtoberfläche mit Focus Stacking

Wegen der starken Krümmung der Drahtoberfläche wird bei mehr als 10-facher Vergrößerung unter dem Objektiv nur eine Linie längs der Drahtoberfläche scharf abgebildet. Dies liegt an dem optischen Effekt der Abnahme der Schärfentiefe bei steigendem Abbildungsmaßstab. Um zu einem gesamtcharfen Bild des sichtbaren halben Drahtmantels zu kommen, müssen mehrere Aufnahmen mit verschobenem Fokuspunkt erzeugt und über eine Focus Stacking-Software, wie z. B. „Helicon Focus“, zu einem finalen, komplett scharfen Bild zusammengesetzt werden. Bei der Anwendung der digitalen Mikroskop-Station „DMS 2“ von GEO (s. Bild 3) können durch das Drehen des Mikroskops um die Drahtachse mit der gleichen Schärfereinstellung Bilder vom gesamten Drahtumfang gemacht und mit Hilfe entsprechender Bildbearbeitungssoftware ein Gesamtbild mit bis zu einer 200-fachen Vergrößerung erzeugt werden.

**Bild 3.** Mikroskop-Station „DMS 2“ von GEO



**Bild 4.** Bildvergleich einer Anzeige: Im Mikroskop-Bild durch Focus Stacking oben und REM-Aufnahme unten (Draht- $\varnothing$  = 1,6 mm)

Die Qualität der Aufnahmen ist wegen der Oberflächenkrümmung und besonders bei glänzenden Oberflächen stark von der Lichtführung abhängig. Zur Vergleichmäßigung der Belichtungssituation haben sich Lichttunnel und Diffusoren bewährt. Dennoch können bei den Aufnahmen im Falle glänzender Drahtoberflächen dunkle Streifen (Reflexion der Objektivöffnung zur Beobachtung) entlang des Äquators nicht immer ganz vermieden werden (siehe auch Bild 4 oben und Bild 6 rechts).

b) Rasterelektronen-Mikroskopie bei geringer Vergrößerung

REM-Aufnahmen sind von der Problematik mangelhafter Tiefenschärfe oder Streifenbildung durch Lichtreflexionen nicht betroffen (siehe Vergleich in Bild 4). Es werden sehr kontrastreiche Bilder erzeugt. Dunkle Stellen mit einem Befund können klar von der übrigen hellen Oberfläche unterschieden werden. Bei Bedarf kann zusätzlich zur Identifizierung der Rückstände eine Konzentrationsverteilung von Elementen über der untersuchten Probenoberfläche sichtbar gemacht werden (Elementverteilungsbilder, EDX-Mapping). Der Flächenanteil der Befundstellen lässt sich beispielweise anhand einer Histogramm-Threshold-Analyse mit der Software „ImageJ“ auswerten und einer Kennzahl zuführen.

c) Chemische Analyse

Generell wird in Drahtzeugnissen der vom Walzdrahtzunder vollständig im Labor gereinigte und saubere Walzdrahtkern ausgewiesen. Dieser kann später der Analyse des Fertigdrahtes im nicht gereinigten Zustand gegenübergestellt werden – idealerweise unter Anwendung der gleichen Labordiagnostik. Besondere Beachtung gilt u. a. der Entwicklung folgender Werte:

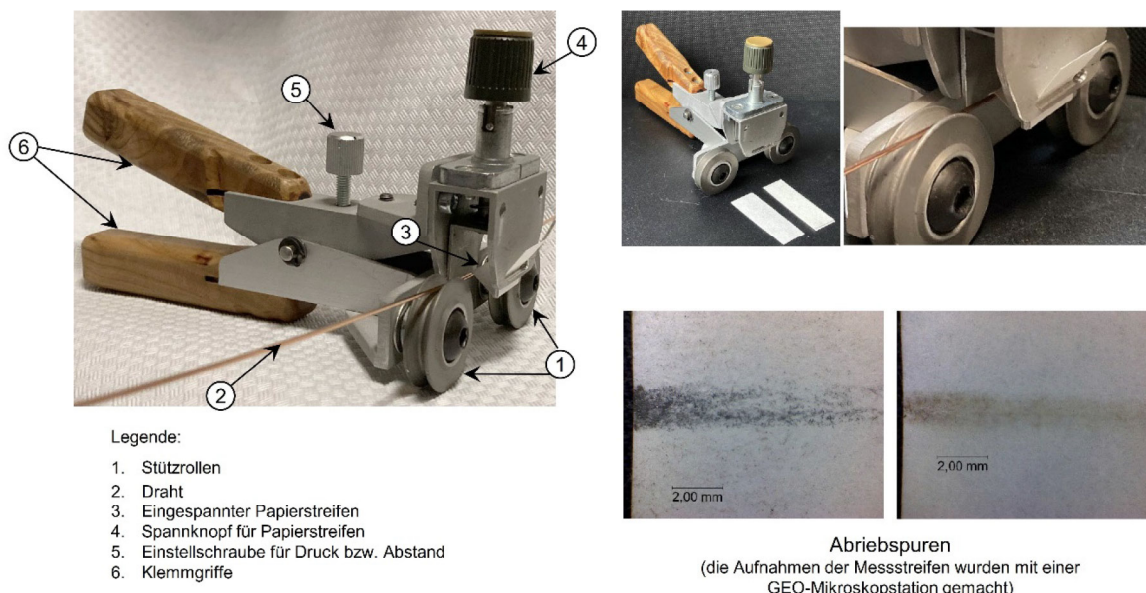
- C-Gehalt: Ein geringerer Gehalt des Fertigdrahtes lässt sich auf eine Entkohlung während einer Normalisierungsglühung zwischen den Ziehstufen zurückführen.
- O-Gehalt: Ein erhöhter Gehalt des Fertigdrahtes weist vorhandene Oxide und damit ggf. Walzdrahtzunderückstände bzw. einen ungenügenden Reinigungserfolg aus
- H-Gehalt: Unerwünscht hohe Werte sind zurückzuführen auf Ziehmittelreste (Kohlenwasserstoff-Verbindungen) aus tiefen Ziehriefen oder aus Hohlräumen unter den eingebetteten Oxidrückständen, welche sich bei der abschließenden Drahtreinigung nicht mehr rückstandsfrei entfernen lassen.

#### d) Wischtest

Mit einer eigens für die Oberflächenprüfung von Drähten entwickelten Prüfzange mit eingelegtem Papierbogen ist es möglich, den „Taschentuchtest“ unter reproduzierbaren Bedingungen stattfinden zu lassen (s. Bild 5). Ziehmittelreste und ggf. abgelöste Partikel aus der Oberfläche finden sich im Papier wieder und können mikroskopisch untersucht werden. Der Abrieb ist umso dunkler, je größer die Menge an Ziehmittelnrückständen ist. Der Graustufenwert des Abriebs kann beispielsweise durch visuellen Vergleich mit einer Kodak Graustufenkarte einem Kennwert und damit einem Bewertungssystem zugeführt werden.

Diese Methode bewährt sich in der Fertigungspraxis als sehr einfaches Instrument, um insbesondere zu hohe Ziehmittelaufgaben auf dem Fertigprodukt leicht detektieren zu können. Relativ weiche Drähte (zum Beispiel SG 2/G3 Si 1) neigen dazu, besonders bei hoher Schleif-/Beizrauheit sehr viel Ziehmittel auf der Oberfläche anzusammeln.

Eine gegebenenfalls erforderliche Nachreinigung des Produktes kann auf diesem Weg sehr einfach auf Wirksamkeit überprüft werden.



**Bild 5.** Prüfzange „PTD“ von GEO

#### e) Schweißversuch

Tastversuche mit dem WIG- und MAG-Verfahren unter Verwendung bewährter Verfahrensparameter liefern wertvolle Hinweise auf den Grad einer Kontamination der Drahtoberfläche

- Strichraupe mit WIG, Oxide am Raupenrand und auf der Raupenoberfläche zählen und ins Verhältnis zur geschweißten Raupenlänge setzen.
- Endkraterabschaltpunkt-Oxid-Kappe mittels Focus Stacking-Fotografie dokumentieren und Größenausdehnung beurteilen.
- Vergleichsmessungen der Förderkraft und der Drahtgeschwindigkeiten am Koffer und möglichst nahe an der Schweißpistole ohne Schweißen (nur mit Drahtvorschub) und während des Schweißprozesses mit der WWTE-Anlage (Welding Wire Test Equipment) von GEO geben Aufschluss über die Kontakteigenschaften des Drahtes und die wirklichen Ursachen für die Erhöhung des Förderwiderstandes.
- Verschleißverhalten bzw. Oxideintrag mit Schlackenbildung beim WIG-Schweißen beobachten. Beim MSG-Schweißen ist das Verschleißverhalten der Stromkontaktdüse in Verbindung mit dem Auftreten von Vibrationen am Schweißbrenner zu beobachten.
- Mehrlagige WIG-Schweißungen sind auf Porenbildung zu untersuchen. Ungewöhnlich niedrige Kerbschlagzähigkeiten oder erhöhte Festigkeitswerte sind ggf. ein Hinweis auf einen zusätzlichen Sauerstoff- bzw. Oxideintrag.

- MSG-Schweißungen müssen ausreichende Schweißzeiten aufweisen, damit der Schweißbrenner seine Betriebstemperatur sicher erreicht. Drahtförder- und Kontaktierungsprobleme treten erfahrungsgemäß frühestens nach 30 bis 60 Sekunden Schweißzeit auf, wenn das Kontaktrohr ausreichend erwärmt ist. Anzustreben sind ununterbrochene Lichtbogenbrennzeiten von mindestens 5 Minuten.
- f) Verwendung des Tischgeräts „WWTE TV“ von GEO für den Test von MIG/MAG Schweißdrähten  
Mit dem eigens für den Test der MIG/MAG Schweißdrähte entwickelten Gerät werden unter den dem Schweißprozess angepassten Bedingungen der Förderwiderstand und der Spannungsabfall in der Kontaktspitze im Durchlauf ohne Lichtbogen gemessen. In zahlreichen Untersuchungen mit unterschiedlichen Schweißdrähten (Stahl, Ni-Legierungen, Aluminium), welche sowohl von GEO selbst als auch von den Kunden, die das Gerät im Einsatz haben, durchgeführt wurden, konnte eine sehr gute Korrelation der Messergebnisse mit den Schweißergebnissen nachgewiesen werden (siehe auch später im Kapitel 7).

## 6 Reinigungsmethoden während der Drahtherstellung

Wie bereits einleitend beschrieben, muss in der Drahtfertigung der Walzdraht zunächst von Zunder befreit werden. Abhängig von der Entzunderungstechnologie in der Drahtherstellung wird der Draht bereits beim Stahlhersteller als geeignet „für mechanische Entzunderung“ (Knickentzunderung/Schleifen) bzw. „für chemische Entzunderung“ (Beizen) bestellt. Für das mechanische Entzundern werden die Drähte bei höheren Endwalztemperaturen gewalzt, um eine möglichst dicke Ausbildung der Zunderschicht zu erzeugen. Für chemische Entzunderung gewalzte Drähte haben demgegenüber eine sehr dünne Zunderschicht, die durch Eintauchen des gesamten Walzdrahtcoils in Salzsäure abgebeizt wird.

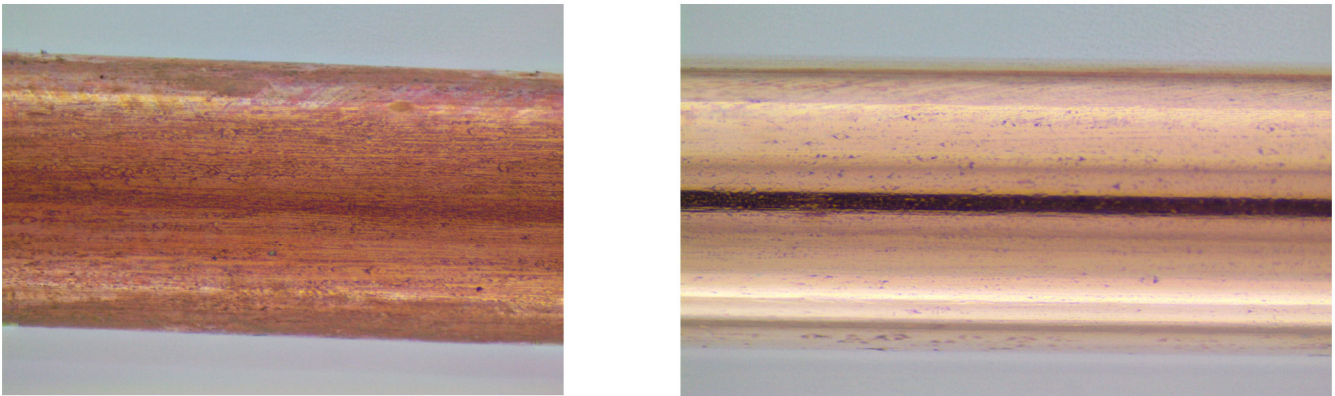
Folgende Verfahren haben sich etabliert:

- Zunderbrechen: Biegen des Drahtes abwechselnd meistens in vier oder mehr Ebenen. Dadurch wird beim Biegen die Außenseite gedehnt. Da die Zunderschicht so gut wie keine plastische Verformbarkeit aufweist, bricht sie teilweise und fällt ab. Dabei wird die Innenseite gestaucht und der Zunder zwar auch gebrochen, aber in das Metall eingedrückt. Beim Wechsel der Biegerichtung werden entsprechend die auf der vorher gedehnten Seite verbliebenen Zunderreste durch das Stauchen in das Metall eingedrückt. Letztendlich bekommt man einen visuell zunderfreien Draht, aber mit vielen, teilweise tief in das Metall eingedrückten Oxidpartikeln, die durch anschließendes Bürsten nicht erfasst werden können und im Ziehprozess nicht verschwinden, sondern sich verfeinert weit in der Drahtoberfläche verteilen.
- Schleifen: Die Drahtoberfläche wird mit Schleifpapier quer zur Drahtachse mit einer Abtragsrate von bis zu 0,1 mm geschliffen. Dadurch werden die Zunderreste zwar etwas besser entfernt als mit Zunderbrechen, aber wiederum nicht vollständig. Außerdem bleiben die Zunderpartikel im Schleifpapier hängen und werden teilweise verfeinert in die erweichte Oberfläche eingearbeitet. Stand der Technik sind heute 2-stufige Schleifanlagen, in denen grobe und feine Schleifpapiere nacheinander kombiniert werden können. Die nach dem Schleifen vorliegende Drahtoberfläche ist von ihrer Struktur her nicht dazu geeignet, ausreichende Mengen Ziehseife mit in das Werkzeug einzuziehen. Daher muss vor dem ersten Zug eine Beschichtung mit einem Salz-Schmiermittelträger erfolgen.
- Beizen – die zurzeit gründlichste Methode zur Entfernung von Oxidresten. In der Beizanlage wird das gesamte Walzdrahtcoil durch Eintauchen in Salzsäure abgebeizt. Die dabei erzielte Rauheit des Drahtes entsteht im Wesentlichen aus dem Angriff der Salzsäure auf die Drahtoberfläche. Die metallisch blanke und aufgeraute Oberfläche ist naturgemäß an der Luft hochaktiv und muss durch geeignete Passivierungsmaßnahmen und entsprechend gute Lagerungsbedingungen vor Korrosion geschützt werden. Gebeizte Drähte sind im Allgemeinen durch ihre Oberflächenstruktur sehr gut ziehfähig, Reste von Passivierungsmitteln und gegebenenfalls während der Lagerung gebildetem Flugrost können durch die oben beschriebenen Schleifanlagen sehr einfach entfernt werden.

In den folgenden Ziehoperationen (für einen 1,2 mm Schutzgasdraht typischerweise 14 Züge) gilt es aus Sicht der Drahtzieherei sicherzustellen, dass an keiner Stelle der Schmierfilm zwischen Ziehwerkzeug und Draht reißt. Sobald Werkzeug und Draht metallischen Kontakt erfahren, kommt es zur Bildung von Ziehriefen. Bei größerflächigem und längerem Kontakt entsteht eine Reibverschweißung, die zur Zerstörung des Werkzeuges und damit auch des Drahtes führt.

Strebt man also während der Produktion einen möglichst dicken und stabilen Schmierfilm auf der Drahtoberfläche an, so muss dieser Schmiermittelfilm für die Verkupferung und für das Endprodukt möglichst gründlich wieder entfernt werden. Das Verkupfern des Drahtes erfolgt in einer Schwefelsäurelösung. Dabei übernimmt die Verkupferung systemimmanent den wesentlichen Teil der Drahtreinigung. Zusätzliche Reinigungsstufen können durch Reduzierung der Schmiermittelaufgaben in den letzten Zügen vor der Verkupferung, zusätzliches Bürsten, spezielle Reinigungsmittel statt Ziehseifen oder eine vor die Verkupferung gesetzte zusätzliche Beizstufe realisiert werden.

Nach der Verkupferung erfolgt der Schlusszug als einzelne Ziehoperation mit relativ geringer Querschnittsabnahme. Dieser sogenannte Polierzug erfolgt nicht mit einem Trockenschmierstoff, sondern wird mit einer basisch eingestellten Ziehemulsion als Schmiermittel durchgeführt. Die auf der Drahtoberfläche abgeschiedenen Kupferkristalle werden im sogenannten Polierzug eingeebnet, so dass das makroskopische Erscheinungsbild des Drahtes glänzend und gleichmäßig verkupfert erscheint (s. Bild 6).



**Bild 6.** Drahtoberfläche vor (links) und nach Polierzug (rechts)

## 7 Stromkontaktierung von glatten und rauen bzw. matten Drähten im Vergleich

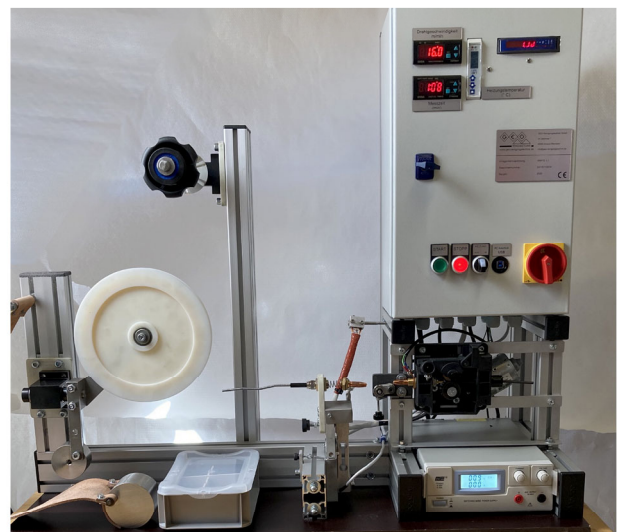
In vielen mit der WWTE-Anlage und dem WWTE-TV-Gerät (siehe Bilder 7 und 8) durchgeführten Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Ursachen für die Drahtförderprobleme beim MIG/MAG- Schweißprozess beim Stromübergang in dem Kontaktrohr liegen. Dies ist auch in Publikationen anderer Autoren nachlesbar [2]. Dabei spielt neben der Sauberkeit der Drahtoberfläche auch ihre Beschaffenheit eine sehr große Rolle.

Die Oberflächenbeschaffenheit der Schweißdrähte lässt sich entsprechend des optischen Erscheinungsbildes der Oberfläche in glänzende (blank gezogene) und matte (matt gezogene) Oberflächen unterteilen. Die sogenannten matt gezogenen Oberflächen sind eher im Bereich Edelstahl oder Ni-Legierungen zu finden. Die meisten übrigen Drähte weisen blank gezogene Oberflächen auf. Aufgrund zahlreicher Rückmeldungen von Anwendern wurde deutlich, dass glänzende Oberflächen ein entscheidendes Verkaufsmerkmal darstellen. Zudem sind viele Drahtanwender bzw. Schweißer der Meinung, dass ein „glitzernder“ Draht besser zu verschweißen sei. Dies stellt in einigen Fällen auch einen der Gründe für die Verkupferung dar. Die Meinung, dass bei einer optisch glänzenden Drahtoberfläche ein stabiler, ruhiger Drahtlauf zu erwarten sei, konnte sich in Untersuchungen durch GEO für verschiedene Schweißdrahthersteller zur Klärung von Reklamationen zu Drahtförderproblemen trotz „glänzender“ Oberfläche nicht bestätigen.

Daher wurden weitere Vergleichsuntersuchungen mit dem Fokus auf die Oberflächenbeschaffenheit durchgeführt. Dabei wurden der Mittelwert und die Standardabweichung des Spannungsabfalls in der Kontaktspitze von gleichen Drähten mit glänzender und mattierter Oberfläche verglichen.



**Bild 7.** Schweißdrahtprüfsystem WWTE von GEO



**Bild 8.** Schweißdrahtprüfsystem WWTE-TV von GEO

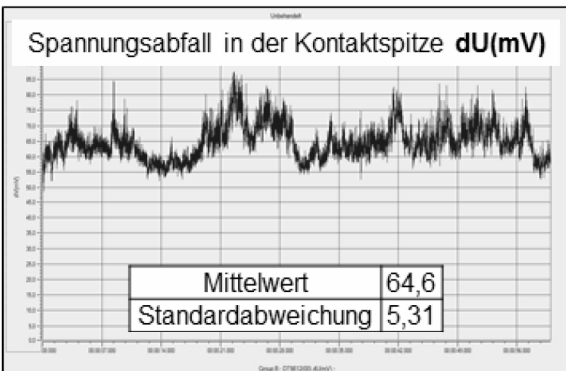
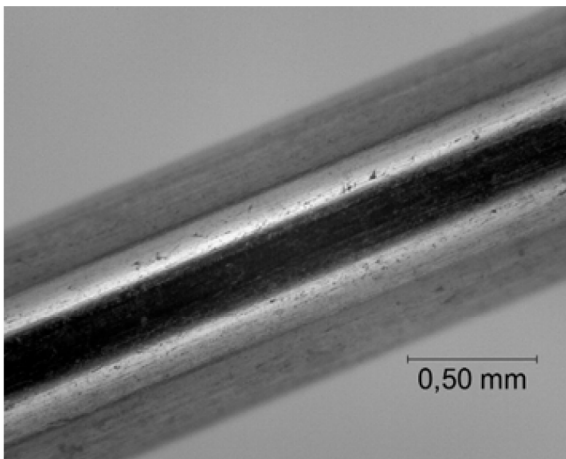
Die dargestellten Messergebnisse (siehe Bilder 9 bis 14) zeigen materialübergreifend eine deutlich bessere Stromübertragung bei rauen Drahtoberflächen. Dies stimmt ebenfalls mit den Aussagen anderer Untersuchungen [3,4] überein.

Physikalisch ist dieses Phänomen wie folgt zu erklären: Jedes System versucht, seine Energie zu minimieren. Der Draht ist im Kontaktröhre nicht zwangsgeführt und wählt deshalb beim Durchlaufen des Kontaktröhres den leichtesten Weg mit der minimal möglichen Kontaktkraft. Ein ideal runder und defektloser Draht würde idealerweise auch nur einen unendlich kleinen Punktkontakt bilden. Eine reale (glänzende) Drahtoberfläche mit sehr geringer Rauheit ist nicht ideal rund und nicht ideal gerade in der Längsrichtung. Dies vergrößert den Kontaktpunkt nicht unbedingt, führt aber zum Variieren der Kontaktposition.

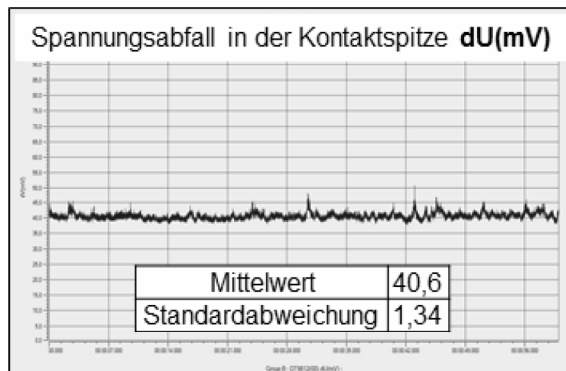
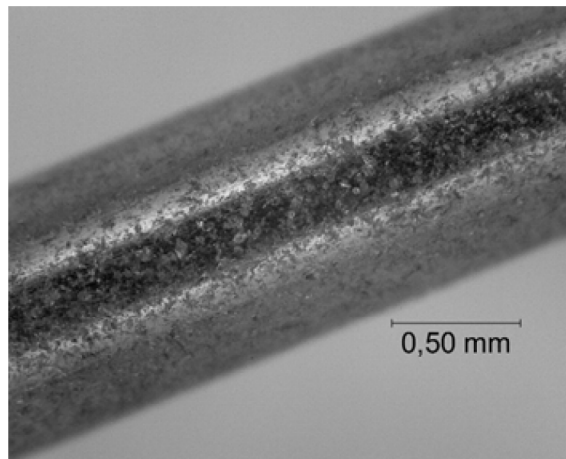
Bei wirklich rauer bzw. matter Drahtoberfläche wird durch die vielen Rauheitsspitzen die Wahrscheinlichkeit eines metallischen Kontaktes mit der Wand des Kontaktröhres um ein Vielfaches erhöht. Übertrieben könnte man sich eine Drahtoberfläche als Bürste vorstellen, deren Borsten auch wegen der leichteren Verformbarkeit und Anschmiegsamkeit mehrere Punktkontakte auf einer größeren Oberfläche ermöglichen. Ein ähnliches Verhalten zeigen die im Motoren- und Generatorbau verwendeten Kohlebürsten, auch kurz Bürsten genannt.

Durch die sehr geringen Abstände zwischen der Drahtoberfläche und der Kontaktröhre erhöht sich außerdem bei rauen Oberflächen die Wahrscheinlichkeit eines Stromübergangs durch Spitzenentladung, auch bei relativ geringem Potentialunterschied von  $U = 20-30 \text{ V}$ .

Die Rauheit der Drahtoberfläche weist insbesondere bei der Anwendung von Gleitmitteln (bei einigen Werkstoffen unabdingbar) noch einen anderen Vorteil auf: Bei der Benetzung der Oberfläche landet ein möglicher Überschuss in den „Tiefen“ der rauen Oberflächenstruktur. Die für den elektrischen Kontakt verantwortlichen Oberflächenspitzen sind dagegen nur mit der minimal möglichen Menge des Gleitmittels benetzt. Dadurch wird die elektroisolierende Wirkung minimiert, aber die Gleiteigenschaften sind noch gewährleistet, und es entstehen deutlich weniger Ablagerungen im Förderschlauch sowie im Kontaktröhre. Dabei ist es von Bedeutung, dass das Gleitmittel auch bei den hohen Temperaturen (ca.  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ) der Kontaktspitze beim Schweißprozess die Gleiteigenschaften beibehält. Das Gleitmittel WWF-U300 von GEO hat sich bereits bei Anwendungen mit unterschiedlichen Werkstoffen hervorragend bewährt.

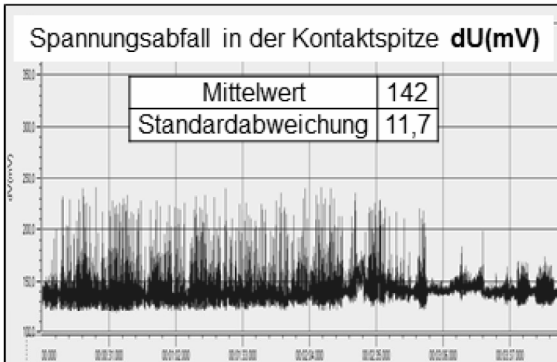
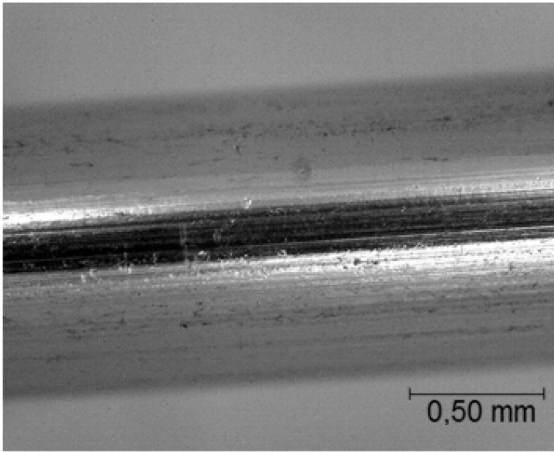


**Bild 9:** Verkupfertes Schweißdraht SG, Lieferzustand

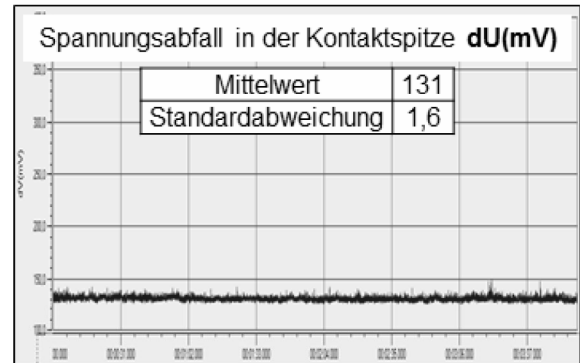
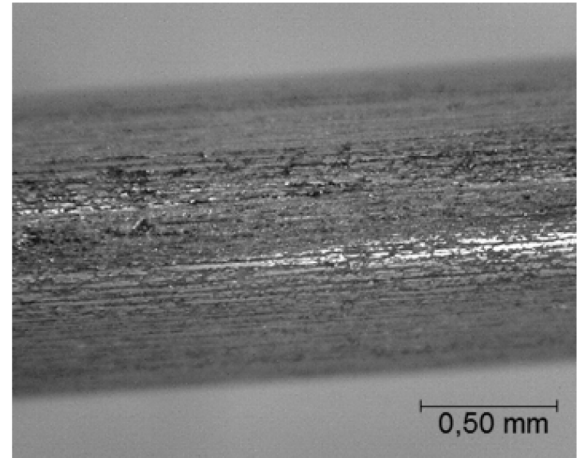


**Bild 10:** Gleicher Schweißdraht SG 2, sandgestrahlt

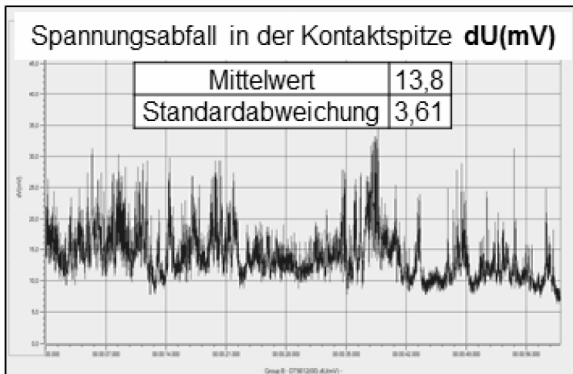
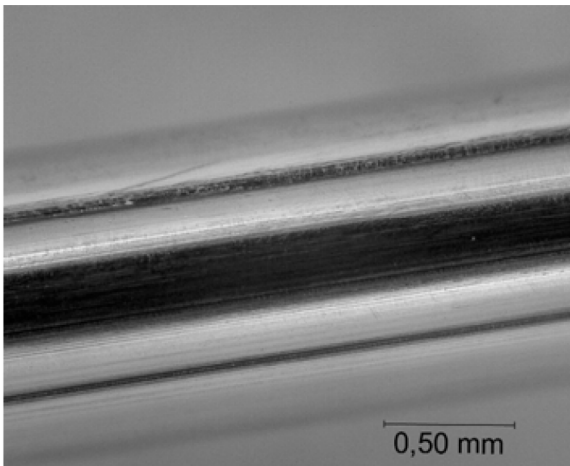




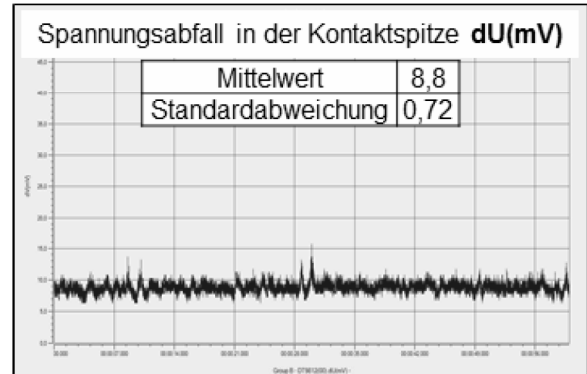
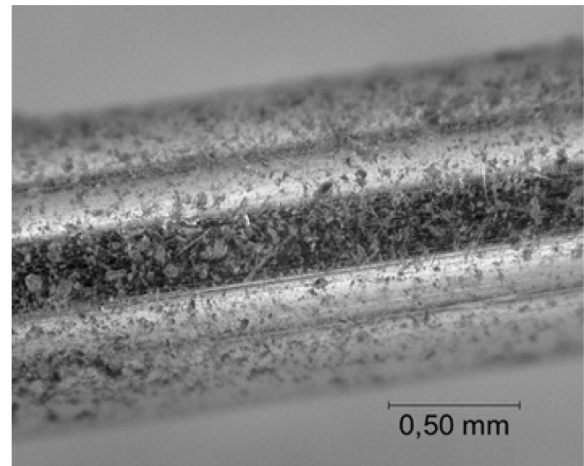
**Bild 11:** Schweißdraht auf Nickelbasis W.Nr.2.4856, Lieferzustand



**Bild 12:** Gleicher Schweißdraht W.Nr.2.4856, sandgestrahlt



**Bild 13:** Al-Draht ER 5183, Lieferzustand



**Bild 14:** Gleicher Al-Draht ER 5183, sandgestrahlt

## 8 Ausblick

Optimierte Drahtoberflächen sind ein wichtiger Baustein bei der Optimierung von Schweißprozessen und Schweißgütern. Hochwertige saubere Drähte verbreitern das Prozessfenster beim Schweißen und vereinfachen die Herstellung fehlerfreier Nähte mit den geforderten mechanisch-technologischen Eigenschaften. Die fortschreitende Digitalisierung unter Verwendung modernster Labordiagnostik ist auch in Zukunft ein wichtiger Hebel, um die Leistung der Schweißzusätze kontinuierlich zu steigern.

### Literatur

- [1] Walzdrahtfehler, Herausgeber: Verein der deutschen Eisenhüttenleute, Verlag Stahleisen mbH, 1973, ISBN 978-3-514-00134-3
- [2] B. Breidenbend, R. Fichtner, P. Terliesner (GEO-Reinigungstechnik GmbH): Oberflächenbehandlung von Schweißdrähten ER70S-6 und deren Auswirkung auf die Schweißeigenschaften. Schweißen und Schneiden 69 (2017) Heft 9
- [3] 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>
- [4] G. Neubert; M. Zinke; J. Schröder: Untersuchungen zur Prozessstabilität beim Metall-Schutzgasschweißen mit hoch legierten Drahtelektroden. Der Praktiker 54 (2002) H. 1, S. 8/12.