

Orbitalschweissen auf Grundlage effizienter Elektrodenauswahl und -Vorbereitung

Die Königsdisziplin des WIG-Schweissens: Optimierung der Schweissergebnisse durch die korrekte Auswahl hochwertiger Wolframelektroden

X. Jauregui, (Arc Machines Inc.); M. Schaffitz (Wolfram Industrie GmbH)

Qualität zahlt sich aus: So würde etwa niemand einen Formel-1-Rennwagen mit preisgünstigen Allwetterreifen ausstatten. Um eine konkurrenzfähige Geschwindigkeit zu erreichen, sollte das Fahrzeug optimal auf der Bahn liegen und perfekt auf die jeweiligen Streckenbedingungen abgestimmt sein. Auch beim WIG-Lichtbogenschweissen muss das verwendete Werkzeug für hochwertige Schweissnähte an die jeweilige Anwendung angepasst werden – und dennoch verwenden viele Schweisser zweitklassige Wolfram-Elektroden, die nicht auf den jeweiligen Prozess abgestimmt sind. Diese Wahl führt zu einer Verschlechterung der Schweissergebnisse aufgrund von niedriger Elektrodenqualität. Allerdings erfordert effizientes Orbitalschweissen eine Wolfram-Elektrode mit individuell angepasster Spitzengeometrie und Oberflächenrauigkeit, passend zum richtigen Schutzgas. Ebenso müssen für optimale Schweissnähte weitere Faktoren beachtet werden, die Einfluss auf Zündeigenschaften, Lichtbogenstabilität, Gesamtwärmeeintrag haben sowie der Charakteristik der Schweissnaht entsprechen.



Wolframelektroden werden häufig bei Schweissarbeiten verwendet, aber deren Aufbau, Anschlag und Legierung besitzen beim WIG-Schweissen einen bisher unterschätzten Einfluss auf ein konstant gutes Produktresultat. Nur bei einer ausgezeichneten Elektrodenqualität und -geometrie ist eine reproduzierbare Schweissnaht möglich.
Quelle: Gesellschaft für Wolfram Industrie mbH

Die Anpassung aller Parameter an die jeweilige WIG-Anwendung ermöglicht eine bis zu sechsmal längere Standzeit und dadurch Ressourceneinsparungen von mehr als 350 Prozent im Vergleich zur Verwendung von unspezifischen No-Name-Elektroden. Dies gelingt allerdings nur mit dem entsprechenden Know-how, der korrekten Auswahl und der Verwendung von hochwertigem Wolfram. Drei zentrale Elemente lassen sich auf diese Weise optimieren: der Schweissprozess an sich, die chemischen Eigenschaften der verwendeten Wolfram-Legierung und das Schleifverfahren für die Elektrodenspitze.

Steigende Anforderungen an den Schweissprozess

Viele Hersteller und Verarbeiter von Metallrohren und -leitungen sehen sich im heutigen industriellen Umfeld strengeren Anforderungen an die Schweissnahteigenschaften gegenüber, als dies in der Vergangenheit der Fall war. Die Halbleiterindustrie benötigt beispielsweise schmalere Schweissnähte mit feinen Oberflächen auf der Innenseite von Edelstahl-Reinstgas-Leitungen. Diese Rohre transportieren hochreine Gase, die toxisch, entflammbar oder korrosiv sind, weshalb die im Schmelzschweißverfahren hergestellten Schweissnähte korrosionsbeständig und sauber verarbeitet sein müssen, um einen störungsfreien Durchfluss zu ermöglichen. Ausserdem reizen Konstrukteure aus allen technischen Disziplinen immer häufiger die Grenzen der technischen Machbarkeit aus, beispielsweise durch die Verringerung von Rohrwandstärken auf das notwendige Minimum. Der sauberen Verarbeitung der Schweissnähte kommt dadurch eine immer höhere Bedeutung im Hinblick auf Sicherheit und Standzeit der Produkte zu.

Während die Industrie sich stetig weiterentwickelt und ihre Prozesse anpasst, stellen auch Schweisser fest, dass ihr gesamtes Arbeitsumfeld hohem Konkurrenzdruck ausgesetzt ist. Anhand einer FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) und einer Datenanalyse der Prozessgrößen wurden die bisher deutlich unterschätzten verdeckten Kosten bei der Verwendung von Orbitalsystemen identifiziert – beispielsweise die Produktion von Ausschuss, Verringerung der Anlagenverfügbarkeit und häufiges Auswechseln der Elektroden. Dies treibt die Gesamtbetriebskosten in die Höhe, obwohl gleichzeitig möglichst viel Geld eingespart werden müsste. Dazu gehört die Vermeidung von vorzeitigem Verschleiss der Wolframelektrode und von Unregelmässigkeiten im Bearbeitungsprozess, die durch den Einsatz verschiedener Wolframlegierungen bei der Verwendung von Elektroden unterschiedlicher Hersteller entstehen können.

Die richtige Chemie durch sorgfältige Pulvermetallurgie

Ein anderes wichtiges Element für die Qualität einer Elektrode besteht in ihrer chemischen Zusammensetzung. Um die Elektrodenleistung zu verbessern, werden oftmals Dotierstoffe in Form von Cer-, Lanthan-, Zirkon-, Thorium-, Terbium- und Yttriumoxiden in Wolfram-Elektroden eingearbeitet. Solche Oxide senken die Elektronenaustrittsarbeit – gemessen in Elektronenvolt (eV). Reines Wolfram hat beispielsweise einen Wert von 4,5 eV, während ein mit 2 Prozent Oxid hergestell-

tes Wolfram einen Wert von 2,8 eV aufweist. Indem der eV-Wert gesenkt oder das Ionisierungspotenzial gesteigert wird, verbessern die Oxide sowohl die Lichtbogenzündleistung als auch die Lichtbogenstabilität. Der Einfluss dieser Variable auf das Schweissresultat wird jedoch häufig unterschätzt und die meisten Firmen betrachten die Wolfram-Elektrode als statische Komponente. Tatsächlich wird aber die Elektrode, sobald der Schweissstrom fliesst, zu einem dynamischen Untersystem, dessen jeweilige Parameter die Eigenschaften des Lichtbogens massgeblich beeinflussen. Insbesondere die Wärme des Schweissbogens führt dazu, dass die Oxide vom kühleren Kern der Elektrode zur heisseren Spitze wandern. Dort trennen sich die Oxide vom Basiselement als Dampf und hinterlassen einen Film auf der Elektrodenspitze. Geringe Toleranzen bei der Körnungsgrosse, der Reinheit der Elemente und dem Zusammensetzungsverhältnis sind massgeblich, um eine konsistente Oxidbewegung und Verdampfungsrate sicherzustellen, was wiederum zu einer gleichbleibend hohen Zündfähigkeit führt.



Pulvermischung
Quelle: Gesellschaft für Wolfram Industrie mbH

Da die Schmelzpunkte der für die Elektroden verwendeten Werkstoffe erheblich voneinander abweichen können – Wolfram schmilzt bei 3.422 Grad Celsius, Ceroxid bei 2.400 Grad Celsius – vertrauen die Hersteller auf das Verfahren der Pulvermetallurgie. Dabei werden spezifische, äusserst feine Wolfram-Korngrössen gemischt, um eine homogene Oxidverteilung in der Matrix zu erzielen. Nach diesem Prozess werden das Wolfram und das Oxidpulver durch isostatischen Druck zusammengepresst, sodass eine einheitliche Dichte und Mikrostruktur entstehen. In der Folge werden die spröden und nicht verfestigten Elektroden mehrere Stunden in einer hochreinen Wasserstoffumgebung und bei kontrollierten Temperaturen gesintert. Nach dem Sintern lassen sich die Elektroden zu ihrer endgültigen Form schmieden, wodurch die Körnungsstruktur weiter optimiert wird. Die Komplexität dieses Herstellungsprozesses der Wolfram-Elektroden birgt viele Möglichkeiten für Fehler und Prozessinstabilitäten, was auch die Unterschiede bei Leistung und Kosten der einzelnen Marken erklärt. Daher wird einerseits umfangreiches Know-how rund um die Elektrode benötigt, aber andererseits ebenso umfassende Kenntnisse über das Anwendungsgebiet selbst, um das Werkzeug optimal für den jeweiligen Prozess anpassen zu können.

Schleifen für eine glatte Oberfläche

Die Geometrie spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Leistung einer Wolfram-Elektrode. Sie wird massgeblich von der verwendeten Schleifmethode beeinflusst. Beispielsweise wird die Oberfläche durch Schleifmittel mit grober Körnung vergrössert, was wiederum für eine schnellere Oxidverdampfung sorgt. Des Weiteren variiert auch die Rauigkeit der Oberfläche bei der Bearbeitung mit einem grobkörnigen Schleifmittel von Anwendung zu Anwendung. Handbetriebene Schleifgeräte und Schleifmaschinen sollten der Vorbereitung der Elektroden für manuelle Anwendungen vorbehalten bleiben, nicht für mechanisierte Verfahren. Bei einem Orbital-WIG-Lichtbogenschweissystem mit einer modernen Stromquelle mit Inverter und einem guten Lichtbogenzündverhalten sollten Unternehmen vorgeschliffene Wolframelektroden verwenden, die von robotergesteuerten CNC-Systemen bearbeitet wurden. Diese Maschinen sind in der Lage, die erwünschten sehr feinen Oberflächen zu erzeugen.

Um Einfluss auf Grenzschichten, Spannungsabfall, Kathodenflecken, Verdampfungsrate oder die relative freiliegende funktionale Oberfläche zu nehmen, können die Oberflächen R_a $0,01\mu\text{m}$ (0,4 Mikrozoll) niedrig sein, bei hoher Kantenschärfe der Kontur oder $3,2\mu\text{m}$ (125 Mikrozoll) mit perfekt gratfreien Flanken. Hochwertige, vorgeschliffene Elektroden aus Wolfram bieten zudem eine Massgenauigkeit von $\pm 0,05\text{mm}$ am Spitzendurchmesser und Schleifwinkeltoleranzen von ± 1 Grad. Wird hingegen eine manuelle Schleifmaschine verwendet, um das Ende einer spitzen Elektrode abzuflachen, hinterlässt dies ausnahmslos einen mikroskopisch sichtbaren Grat. Wenn dieser Grat während des Schweissens abbricht, kann er in die Schweissnaht gelangen. Dies führt bei pharmazeutischen, medizinischen, nuklearen, Luft-/Raumfahrt-bezogenen und weiteren kritischen Anwendungen oftmals dazu, dass das Werkstück aussortiert werden muss. Zusätzlich beeinflusst die Geometrie des Elektrodenspitzen die Form des Plasma-Kegels, was wiederum Auswirkungen auf das Profil der Schweissraupe hat.

Ausblick auf aktuelle Forschungsergebnisse

Ein Grossteil der bisherigen Plasmaforschung im Bereich der Elektrodengeometrie erfolgt mithilfe der Spot-on-Plate-Technik (Schweisspunkt auf Platte), bei der für zwei Sekunden bei 200 A ein Lichtbogen auf eine Platte trifft. Diese Technik stellt nicht die Flüssigkeitsdynamiken dar (Verhalten der Schweissnaht), die während des Orbitalschweissens auftreten. Sie berücksichtigt weder den Schweisskopf, der sich von der Schweissnaht aus in das kalte Material bewegt, noch bezieht sie die Wärmeleitfähigkeit und das Vorwärmen des Rohres während des Schweissvorgangs mit ein. Neuere Forschungen, die unter tatsächlichen orbitalen Schweissbedingungen durchgeführt wurden, umfassten mehr als 500 Elektrodenkonfigurationen. Dabei wurden polierte Querschnitte der Schweissnähte mit einem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Auf Grundlage dieser Ergebnisse können Anbieter von Elektroden- und Orbitalssystemen nun passende Wolframflö-

sungen für spezifische Anwendungen empfehlen. Schmale Schweissnähte mit einer Schweissnaht von 2 mm im Aussendurchmesser profitieren beispielsweise vom steigenden und gleichbleibenden Lichtbogendruck von der Wolframelektrode, der durch eine Mischung aus Mischoxiden erzielt wird, bei denen verschiedene Oxid-Eigenschaften kombiniert werden.

Diese Forschungsergebnisse helfen zudem dabei, bisher verborgene Probleme zu lösen. So führten beispielsweise bei einem Unternehmen wiederkehrende Abweichungen im Schweissprozess zu einer deutlich erhöhten Ausschussquote. Um diese zu verringern, wurden umfangreiche Massnahmen ergriffen, um die Ursache zu finden. Das Untersuchungsteam kalibrierte die Stromquelle sowie den Schweisskopf neu und inspizierte jeden Punkt im Stromkreislauf. Dies führte jedoch nicht zu einer Verbesserung der Schweissergebnisse. Das Team dachte dabei jedoch nie an die Verbrauchskomponente im Kreislauf: die Elektrode. Der Wechsel zu hochwertigeren, vorgeschliffenen Wolfram-Elektroden löste das Problem.

In Abhängigkeit von den jeweiligen Einsatzbedingungen können kumulierte Abweichungen, die von diesen Faktoren hervorgerufen werden, leicht zu einer Gesamtwärmeeinbringung führen, die unter ansonsten identischen Umgebungsbedingungen um ganze 5 Prozent abweicht. Auch wenn das derzeit akzeptabel sein mag, kann sich dies in den nächsten zehn Jahren ändern, wenn Endnutzer von den Komponentenherstellern vollständigere Datensätze und Analysen fordern.

Fazit: Hochwertige Wolfram-Elektroden optimieren Kosteneffizienz

Bei jedem Orbitalschweissprozess senken hochwertige Elektroden die Gesamtschweisskosten. Testläufe unter Reinraumbedingungen bestätigen, dass sich mit optimierten Wolfram-Elektroden problemlos mehr als 650 Lichtbogenzündungen ohne Verzögerungen bei der Lichtbogenentwicklung realisieren lassen. Anstatt die Elektrode zu Beginn jeder Schicht wechseln zu müssen, könnten die Schweisser eine solche Elektrode mehrere Tage lang verwenden. Beispielsweise verzeichnete ein Unternehmen sogar 27 Stunden Lichtbogendauer mit einer einzigen Elektrode. Umgekehrt liefern unspezifische, zweitklassige Wolframelektroden durchschnittlich nur etwa 110 Lichtbogenzündungen und müssen somit deutlich häufiger gewechselt werden. Die damit verbundenen Arbeitskosten übersteigen allein schon sämtliche Einsparungen beim Kaufpreis. Unter Berücksichtigung von Ausschuss und Schweissdefekten ist es somit erstrebenswert, eine Elektrode sorgfältig auszuwählen. Denn nur so lassen sich qualitativ hochwertige Schweissnähte produzieren, die trotzdem kosteneffizient sind.

Dieser Artikel erschien ursprünglich in der Dezemberausgabe 2019 des Journals The Tube & Pipe und wird hier mit Genehmigung von FMA Communications Inc. abgedruckt. Weitere Informationen zu FMA-Veröffentlichungen finden Sie unter www.thefabricator.com.



Im Jahr 1911 ursprünglich als Wolfram Drahtfabrik GmbH zur Herstellung und Verarbeitung von Wolfram und Molybdän vom Grossvater der heutigen geschäftsführenden Gesellschafterin Marion Freifrau von Cetto in Berlin gegründet, firmierte das Unternehmen 1928 in die Gesellschaft für Wolfram Industrie mbH um. 1943 wurde der Firmensitz nach Traunstein verlagert, wo Mitte der 1950er-Jahre weitere Produktionsgebäude errichtet wurden. Nach dem Tod der Gesellschafterin Helga Freifrau von Cetto übernahm 1974 ihre Tochter Marion Freifrau von Cetto als Eigentümerin die Leitung des Unternehmens. 1991 erwarb die Gesellschaft für Wolfram Industrie mbH den Konkurrenten Bayerische Metallwerke GmbH in Dachau, der bereits seit 1926 auf dem Markt aktiv war, und erweiterte so seine Produktpalette. Beide Unternehmen produzieren ausschliesslich in Deutschland. Am Standort Dachau sind aktuell 57, in Traunstein derzeit 63 Mitarbeiter beschäftigt. Im August 2018 eröffnete das Unternehmen mit der Wolfram Industrie GmbH einen weiteren Standort im schweizerischen Winterthur.

Info: sales@arcmachines.com
Internet: www.arcmachines.com

Info: info@wolfram-industrie.de
Internet: www.wolfram-industrie.de