

FÜGEHILFSSTOFFE

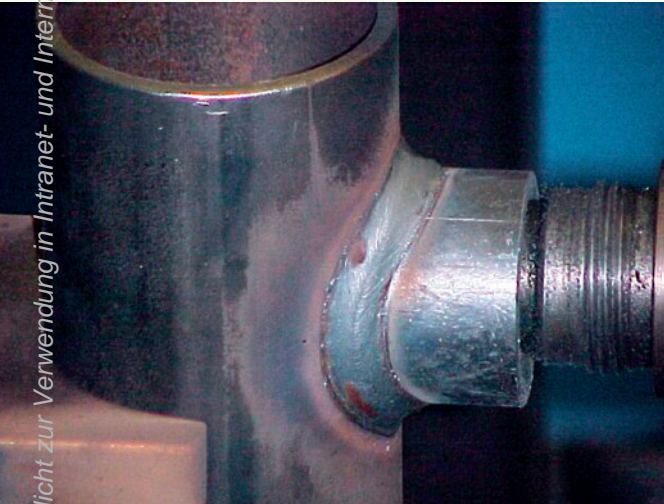
Kleine Varianz beim Schutzgas – großer Nutzen im Fügeprozess

Saubere Nähte, eine ausgeklügelte Wärmeführung aufgrund sehr dünner Bleche und neuer Werkstoffe: Die Anforderungen an den modernen Schweißprozess sind vielfältig. Beim MSG-Schweißen bestimmt das Verhalten des Schutzgases den Prozess maßgeblich.

Oft lohnt es sich, genau abgestimmte Gemische zu verwenden, nachdem diese getestet wurden. Die wachsende Vielfalt der Schutzgase erleichtert zwar nicht die Entscheidung, steigert aber die Wettbewerbsfähigkeit.

Spritzer haften wegen ihrer schlechteren Wärmeleitfähigkeit stärker auf der Oberfläche und ein zu starker Abbrand von Legierungselementen kann die Eigenschaften der Stähle nachteilig beeinflussen. Vermehrt werden außerdem Aluminium und Aluminiumlegierungen verwendet – ebenfalls immer dünner werdend. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist die konzentrierte Energieeintrbringung entscheidend. Zudem gilt es, Porenbildung zu vermeiden.

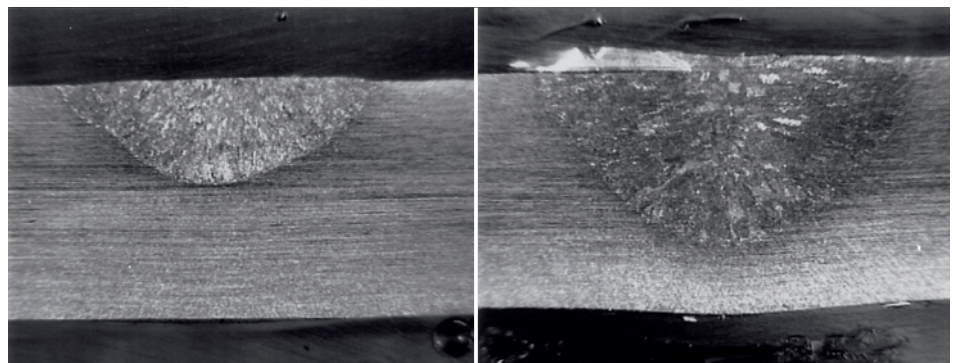
Die Verfahren zum Schutzgasschweißen zählen unverändert zu den wichtigsten Fügeverfahren. Zahlreiche Entwicklungen bei den Herstellern von Stromquellen und Zusatzwerkstoffen erleichtern heute die Verarbeitung selbst schwierigster Werkstoffe. Nicht ohne Grund sind diese Fügeverfahren nach dem wesentlichsten Merkmal des Schweißprozesses benannt: dem Schutzgas. Prägend für dessen Einfluss sind seine physikalischen Eigenschaften. Die wichtigsten sind Ionisierungsenergie, Wärmeleitfähigkeit und chemisches Verhalten. Ionisierungsenergie ist die Energiemenge, die nötig ist,



Hochwertig: Mit teilmechanisiertem MAG-Schweißen angebrachte Rohrabzweigung. Deutlich zu sehen ist die spritzer- und schlackearme Schweißnaht

DAS SCHWEISSEN von Blechen hat sich stark verändert. So verwendet man heute bei unlegiertem Stahl zunehmend höherfeste Qualitäten, die zwar eine deutlich reduzierte Materialdicke ermöglichen, aber auch höhere Anforderungen an die Wärmeführung beim Schweißen stellen. Von Blechen erwartet man zudem eine bessere Oberfläche als früher, um neuen Beschichtungsverfahren wie der Lackierung mit Wasserlack gerecht zu werden. Sie wiederum stellen hohe Anforderungen an die Spritzerfreiheit und die Sauberkeit der Naht (keine Schlackerückstände). Bei hoch legiertem Stahl ist ebenfalls die Schlacke- und Spritzerfreiheit entscheidend.

umlegierungen verwendet – ebenfalls immer dünner werdend. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist die konzentrierte Energieeintrbringung entscheidend. Zudem gilt es, Porenbildung zu vermeiden.



Mischen ist besser: Wasserstoff als Argon-Zusatz (rechts) erzeugt einen tieferen Einbrand als reines Argon. Weitere Vorteile sind eine höhere Fließgeschwindigkeit und besseres Fließverhalten

um ein Elektron von einem Atom zu lösen und damit den Lichtbogen elektrisch leitfähig zu machen. Ist die Ionisierungsenergie klein, zündet der Lichtbogen leicht und brennt stabil. Die Ionisierungsenergie, die verbraucht wird, um ein Elektron herauszulösen, wird am Werkstück durch Rekombination mit einem Elektron freigesetzt. Diese Energie steht dann für den Schweißprozess zur Verfügung. Gase, die wegen ihrer geringen Ionisierungsenergie einen stabilen Lichtbogen erzeugen, übertragen die Energie allerdings nicht so gut auf das Werkstück. Große Bedeutung bei der Energieübertragung vom Lichtbogen auf das Werkstück hat auch die Wär-

meileitung. Entscheidend hierfür ist die Wärmeleitfähigkeit des Gases. Beim chemischen Verhalten ist zu unterscheiden zwischen inert, oxidierend und reduzierend. Die verschiedenen Eigenschaften der Gase werden genutzt, um vor allem für schwierige Werkstoffe anwendungsgerechte Schutzgase zu entwickeln.

Gas mit breitem Spektrum zum MAG-Schweißen

Sind unlegierte Stahlsorten zu fügen, wendet man überwiegend das MAG-Schweißen aufgrund seiner hohen Abschmelzleistung an. Genutzt werden aktive Gase mit der entscheidenden Komponente Sauerstoff, der rein oder

über CO₂ zugegeben wird. Durch Sauerstoff bildet sich Metalloxid, das sich leichter ionisieren lässt. Das stabilisiert den Lichtbogen. Die Metalloxidbildung ist eine exotherme Reaktion, die zusätzliche Energie einbringt. Sauerstoff verringert die Viskosität der Schmelze, CO₂ erhöht sie. Gleichzeitig verbessern aktive Gase die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeübertragung gegenüber Argon. Durch die Dissoziation der molekularen Gase Sauerstoff und CO₂ im Lichtbogen vergrößert sich außerdem das Gasvolumen, was einen guten Gasschutz erzeugt. Mit zunehmendem Aktivgas-Anteil steigt jedoch auch der Spritzer-auswurf, weil sich der Lichtbogenansatz verändert und die Tropfen ablösende Pinch-Kraft dann nicht so gut wirken kann.

Üblich sind bei unlegierten Stählen häufig noch Gemische aus Argon und 18 Prozent CO₂. Der optimale CO₂-Anteil hängt allerdings von der Anwendung ab. Blechdicke, Oberflächenbeschaffenheit und Verzunderung sind zu beachten. Wegen des erhöhten Spritzer-auswurfs und der daraus resultierenden Nachbearbeitungskosten sollte der Aktivgasanteil reduziert werden. Verbesserungen bringen Gemische mit 8 Prozent CO₂ oder Dreikomponentengase mit 5 Prozent CO₂ und 6 Prozent Sauerstoff. Speziell zum MAG-Schweißen von dünnen Blechen aus unlegiertem Stahl wurde das Mischgas ›Sagox 3‹ mit 4 ▶

Physikalische Eigenschaften der Schutzgase

Schutzgas	Dissoziationsenergie (kJ/mol)	Ionisationsenergie (atomar, kJ/mol)	chemisches Verhalten
Argon	-	1525	inert
Helium	-	2374	inert
Wasserstoff	436	1312	reduziert
Stickstoff	946	1399	reaktionsträge
Sauerstoff	498	1168	oxidierend
Kohlendioxid	394	1332	oxidierend

Prozent CO₂ und 1 Prozent Sauerstoff entwickelt. Es ermöglicht spritzerarmes Schweißen und hat sehr gute Fließeigenschaften. Der Aktivgasanteil ist so niedrig, dass aus metallurgischer Sicht auch hoch legierter Stahl verschweißt werden kann. Für kleinere Unternehmen bietet das den Vorteil, dass ein Gas für zwei Werkstoffe eingesetzt werden kann und sich die Lagerhaltung verringert.

Die Mischung entscheidet bei hoch legiertem Stahl

Auch bei hoch legiertem Stahl lassen sich die Vorteile des MAG-Schweißens nutzen. Wie bei unlegiertem Stahl wirkt der Aktivgasanteil prozessstabilisierend. Die bei unlegiertem Stahl üblichen, relativ hohen CO₂-Anteile würden aber bei hoch legiertem Stahl zu einem Zubrand an Kohlenstoff führen. Das wiederum reduziert stark die Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion (IK) durch Chromkarbid-Bildung. Bisher wurde deshalb beim MAG-Schweißen hoch legierter Stähle mit Argon-Sauerstoff-Gemischen gearbeitet. Sauerstoff ist für die Metallurgie unbedenklich, führt aber zu stärkerer Oxidation der Naht. Wird hingegen CO₂ im Gemisch verwendet, sollte dessen Anteil zur Sicherung der Korrosionseigenschaften 5 Prozent nicht überschreiten. Gemische mit 2 bis 2,5 Prozent CO₂ im Argon haben sich inzwischen bewährt. Aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit hoch legierter Stähle reichen geringe Aktivgas-Komponenten aus, um einen sicheren Einbrand zu erzielen. Bei Mehrlagenschweißungen ist die Oxidation jedoch selbst bei 2,5 Prozent CO₂ schon so groß, dass nach jeder Lage die Oxidschicht entfernt werden muss.

Sinnvoll kann auch die Zugabe von Helium oder Wasserstoff sein. Ziel ist es, die Oxidation zu minimieren und das Fließverhalten zu verbessern. Wasserstoff hat die höchste Wärmeleitfähigkeit aller Schutzgase, reduziert wie Sauerstoff die Viskosität der Schmelze und stellt ein gutes Anfließverhalten sicher. Helium wirkt ähnlich und kann auch in höheren Anteilen verwendet werden.

Um die richtige Mischung zum Schweißen hoch legierter Stähle zu ermitteln, wurden bei der Westfalen AG in Münster (www.westfalen-ag.de) Untersuchungen angestellt, deren Ergebnis die Gase ›Sagox HC‹ und ›Sagox SC‹ sind. HC ist ein Schutzgas auf Argonbasis mit abgestimmter Beimischung von Helium, Wasserstoff und CO₂. Die dosierte Zugabe von Wasserstoff gleicht die nachteilige Wirkung von CO₂ auf das Fließverhalten aus. Die sehr geringe CO₂-Beimischung, die deutlich unter 2 Prozent liegt, minimiert die Oxidation auf der Naht. HC ist deshalb besonders für Blechdicken bis 4 mm geeignet. Durch die Zugabe von Helium wird der Lichtbogen breiter. So bildet sich die Kehlnaht wesentlich besser aus. Übrigens lässt sich HC gut mit dem CMT-Prozess von Fronius (www.fronius.com) kombinieren. Sagox SC basiert ebenfalls auf Argon. Statt Wasserstoff enthält SC eine sehr kleine Menge Sauerstoff, durch die ein stabiler und konzentrierter Lichtbogen entsteht. Beide Gemische haben sich schon bewährt. So werden bei einem Behälterhersteller Stumpfstöße von 6 mm ohne Nahtvorbereitung und in einer Lage mit SC geschweißt. Zuvor wurde zunächst von außen eine Lage geschweißt, von innen ausgekreuzt und anschließend von innen gegenge-

schweißt. Die Kosten ließen sich deutlich senken. Beim WIG-Schweißen muss wegen der nicht abschmelzenden Elektrode mit inerten Gasen gearbeitet werden. Standard ist hier immer noch Argon. Argon überträgt die Energie aber schlecht auf das Werkstück. Benötigt werden also Gase, die die Wärmeleitfähigkeit erhöhen. Zunächst bietet sich Helium an, das



Hält dicht: Unter ›Argon He 11‹ geschweißte Muffennaht an einem Druckbehälter für Nutzfahrzeuge. Deutlich sind die schmale Reinigungszone neben der Naht und die gleichmäßige Schuppung zu erkennen. Letztere weist auf einen stabilen Lichtbogen hin

in einem Temperaturbereich ab etwa 3000 °C eine höhere Leitfähigkeit hat. Außerdem kommt Wasserstoff in Frage. Er leitet bei etwa 4000 °C besser als alle anderen Schutzgase. Die Wirkung eines zweiprozentigen Wasserstoffanteils kann mit der von etwa 30 Prozent Helium gleichgesetzt werden. Ob Wasserstoff tatsächlich verwendbar ist, hängt von der Löslichkeit und vom Löslichkeitssprung beim Übergang von der Schmelze zum festen Zustand ab. Besonders kritisch ist das bei Aluminium. Aber auch unlegierter Stahl mit seinem kubisch-raumzen-



Im Schnitt günstiger: Nahtausbildung nach dem MIG-Schweißen von Seiten- und Bodenteil eines Isolierwagens mit reinem Argon (links) und mit dem neuen Gasgemisch ›Argon He 11‹. Die Fügegeschwindigkeit verdreifachte sich fast und die Naht bildete sich günstiger aus

trierten Metallgitter neigt je nach Festigkeit zur Wasserstoffversprödung. Unproblematisch sind dagegen Wasserstoffanteile im Schutzgas bei austenitischen Stählen, auch wenn diese einen gewissen Deltaferritanteil haben. Bei ihnen lässt sich der Einbrand und damit die Schweißgeschwindigkeit durch Zugabe von Wasserstoff erheblich erhöhen. Dazu tragen sowohl die gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübertragung als auch die herabgesetzte Viskosität der Schmelze und die daraus folgenden verbesserten Fließeigenschaften bei. Beim mechanisierten WIG-Schweißen, bei dem die höhere Energieeinbringung in Geschwindigkeit umgesetzt werden kann, sind Wasserstoffanteile zwischen 5 und 7,5 Prozent möglich. Beim Handschweißen sollte der Wasserstoffanteil unter 5 Prozent betragen. Aber auch dann fließt das zähe Schweißgut der austenitischen Stähle besser, werden Flankenabbindung und Kehlnahtausbildung optimiert. Die Vorteile von Wasserstoff sind auch beim Orbitalschweißen nutzbar. Kombiniert mit einem Teilnahtschweißen, lassen sich durch den Wasserstoffanteil im Schutzgas Rohrverbindungen bis 5 mm in einer Lage ohne Schweißzusatz herstellen. Bei diesem Verfahren wird die Orbitalnaht, die üblicherweise umlaufend 360° geschweißt wird, in zwei Teilnähte unterteilt.

Tests ergaben die Mischung für das Aluminiumschweißen

Aluminium wird überwiegend per WIG-Wechselstromschweißen gefügt. Der ständige Polaritätswechsel destabilisiert dabei den Lichtbogen. Bisher wurden deshalb nur Argon oder – anwendungsabhängig – Argon-Helium-Gemische verwendet. Ziel der Forschung musste es also sein, eine deutlich höhere Energie bei gleichzeitiger Stabilisierung des Lichtbogens einbringen zu können. Testreihen mit unterschiedlichen Zumischungen ergaben eine optimale Zusammensetzung bei 10 Prozent Helium, 300 vpm Stickstoffmonoxid und 70 vpm Stickstoff. Stickstoffmonoxid und Stickstoff konzentrieren den Lichtbogen, der zugleich ruhiger und stabiler wird. Die höhere Energiedichte führt zu einem schmaleren und tieferen Ein-

brand. Die zusätzliche Wärme verbessert das Fließverhalten und die Entgasung und verringert die Porosität. Gleichzeitig verkleinert sich die Reinigungszone neben der Naht und die Porenbildung wird vermieden. Der Heliumanteil, dessen Nachteile durch Stickstoff und Stickstoffmonoxid kompensiert werden, verbessert die Energieeinkopplung. Die Vorteile dieses Gemischs, das als ›Argon He 11‹ verfügbar ist, sind ein tiefer Einbrand und eine hohe Prozesssicherheit.

Auch beim MIG-Schweißen – zunehmend mit Impulstechnik – verwendet man Argon He 11. Hier werden durch die Zumischung von Stickstoffmonoxid und Stickstoff die Vorteile von Argon und Helium maximal genutzt. Der stabilisierte Lichtbogen führt zu einem gleichmäßigen Tropfenübergang bei konzentrierterer Energieeinbringung. Die Schweißgeschwindigkeit erhöht sich, die Prozesssicherheit steigt. Der Einbrand wird tiefer, die Porensicherheit und die Flankenbenetzung werden verbessert. Die konzentrierte Energieeinbringung verstärkt – gerade bei Aluminium – die Vorteile des Schweißbeginns mit erhöhtem Strom. Die hohe Fügegeschwindigkeit bewirkt außerdem ein günstiges Verhältnis von Geschwindigkeit zu vorlaufender Wärme. Das Risiko einer durchsackenden Naht sinkt. In der Praxis beweist sich Argon He 11 bei einem Hersteller von Isolierwagen. Bei der Verbindungsnaht zwischen Seiten- und Bodenteil konnte die Schweißgeschwindigkeit mit Argon He 11 im Vergleich zu reinem Argon von 80 auf 220 cm/min erhöht werden. Die Füge-naht bildete sich außerdem wesentlich günstiger aus.

Praxiserfahrungen belegen, dass sich häufig Fügeversuche in einem Technikum oder im Betrieb des Anwenders lohnen und genau abgestimmte Gemische oftmals wirtschaftliche oder qualitative Verbesserungen ermöglichen. Die wachsende Vielfalt der Schutzgase erleichtert zwar nicht die Entscheidung, steigert aber die Wettbewerbsfähigkeit und erhöht vielleicht sogar die Kundenzufriedenheit. ■

ULF JENTER

Westfalen AG, Münster
www.westfalen-ag.de