

Aluminium-Werkstoffe.

Schweisstechnische Verarbeitung.



Der Werkstoff Aluminium.

Eine interessante Kombination von Eigenschaften macht dieses Metall zum gefragten Werkstoff.

Physikalische und chemische Eigenschaften von Aluminium

Aluminium-Legierungen haben sich in den letzten 60 Jahren einen festen Platz in vielen Bereichen der Technik erobert und belegen nach Stahlwerkstoffen den 2. Platz bei den verwendeten Metallen. Besonders im Verkehrswesen liegt ein Anwendungsschwerpunkt, gefolgt von den Bereichen Bautechnik und Maschinenbau. Auch die Verpackungsindustrie kennt Aluminium schon seit vielen Jahren als einen attraktiven Werkstoff.

Die Gründe für den wirtschaftlichen und technischen Erfolg von Aluminium liegen in einer interessanten Kombination von kennzeichnenden Eigenschaften; besonders zu nennen sind:

hohe elektrische und thermische	geringe Dichte
hohe Duktilität, auch bei tiefen	Leitfähigkeit
chemische Beständigkeit	Temperaturen
hygienische Unbedenklichkeit	

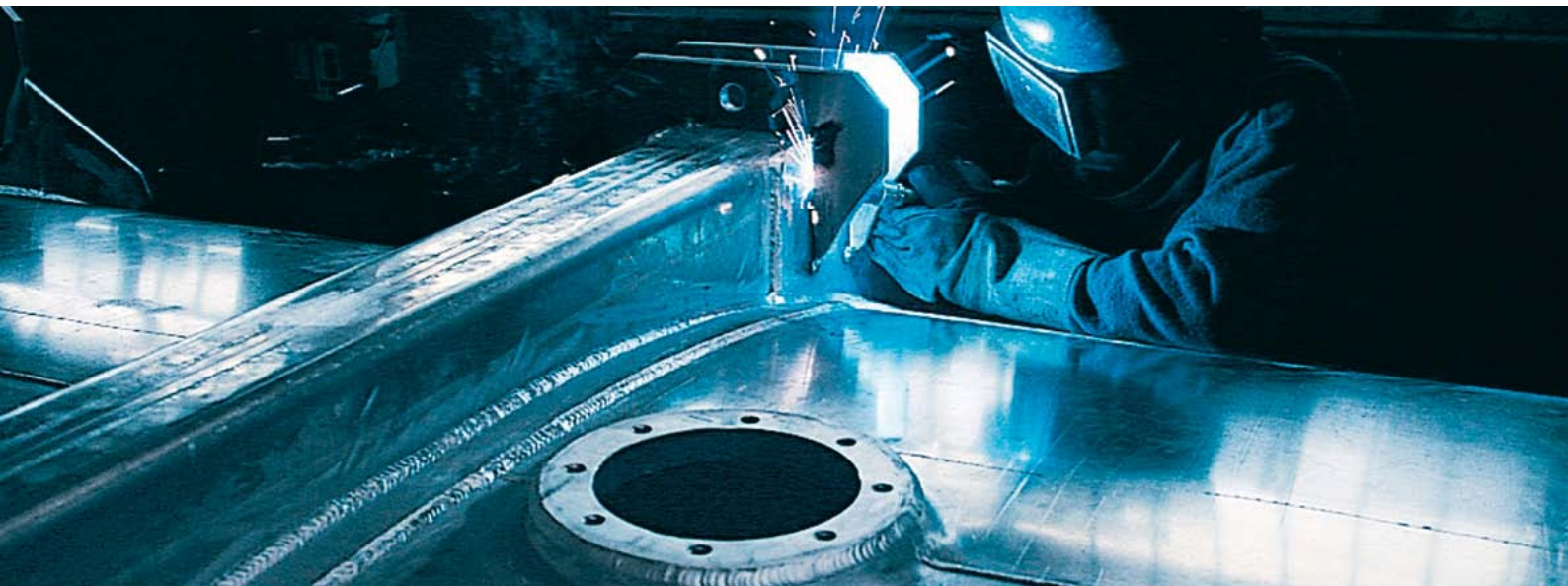
Auch sind Eigenschaften wie Funkenfreiheit, magnetische Neutralität sowie die Unbrennbarkeit in vielen Fällen ausschlaggebend für die Verwendung.

Man unterscheidet generell zwischen Reinaluminium, Reinaluminium und Aluminium-Legierungen, die vorwiegend mit Mangan, Magnesium, Silizium, Kupfer und Zink legiert sind, wobei die Steigerung der Festigkeit das Hauptziel ist. Neben den Zweistofflegierungen sind vielfach ternäre oder Mehrstofflegierungen im Einsatz. Die Steigerung der Festigkeit kann nicht nur über Mischkristallverfestigung, sondern auch mittels Kaltverfestigung durch Umformen oder durch Aushärten erreicht werden. Daher wird bei den Aluminium-Werkstoffen zwischen naturharten und aushärtbaren Legierungen unterschieden. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Verarbeitung, so dass zwischen Guss- und Knetlegierungen differenziert wird. Tabelle 1 zeigt einige wichtige physikalische Eigenschaften von reinem Aluminium im Vergleich zu Reineisen. Auffällig sind die deutlich niedrigere Dichte, der tief liegende Schmelzpunkt, aber auch die hohe Schmelzwärme und vor allem der hohe Schmelzpunkt des Aluminiumoxids. Aluminium zeigt am Schmelzpunkt keine Glühfarben. Zusammen mit dem höheren Ausdehnungskoeffizienten und der guten Wärmeleitfähigkeit machen diese Eigenschaften das Schweißen von Aluminium-Werkstoffen im Vergleich zu Stahl schwieriger.

Aluminium liegt bei Raumtemperatur im kubisch-flächenzentrierten Gitter vor und zeigt keine Umwandlungen, so dass keine Abschreckgefüge wie Martensit entstehen können. Eine Kaltversprödung tritt bei Aluminium nicht auf.

Tabelle 1: Vergleich Aluminium – Eisen

Eigenschaft	Einheit	Aluminium	Eisen
Atommasse	g/mol	26,98	55,84
Dichte	g/cm ³	2,70	7,87
Elastizitätsmodul	N/mm ²	71 × 10 ³	210 × 10 ³
Ausdehnungskoeffizient	1/°K	24 × 10 ⁻⁶	12 × 10 ⁻⁶
Schmelzwärme	kJ/kg	396	270
Dehngrenze	N/mm ²	ca. 10	ca. 100
Zugfestigkeit	N/mm ²	ca. 50	ca. 200
Oxide		Al ₂ O ₃	FeO, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄
Schmelzpunkt der Oxide	°C	2046	1400, 1455, 1600
Schmelzpunkt des Metalls	°C	658	1536



Aluminium: Ein vielseitiger Werkstoff

Normung von Aluminium-Legierungen

Die Bezeichnung und Festlegung der Werkstoffnummern von Aluminium-Legierungen ist in EN 573-1 definiert und entspricht dem Bezeichnungssystem der Aluminium Association in Washington; Details zu den jeweiligen chemischen Analysen finden sich in EN 573-3.

Die Legierungsgruppen sind wie folgt zusammengefasst:

Serie 1000	Aluminium min. 99,00%
Serie 2000	Hauptlegierungselement Kupfer
Serie 3000	Hauptlegierungselement Mangan
Serie 4000	Hauptlegierungselement Silizium
Serie 5000	Hauptlegierungselement Magnesium
Serie 6000	Hauptlegierungselemente Mg + Si
Serie 7000	Hauptlegierungselement Zink
Serie 8000	andere Legierungselemente
Serie 9000	nicht benutzt

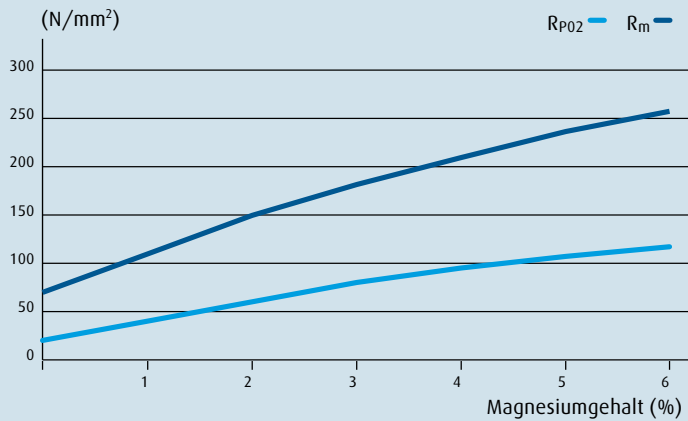
Die Bezeichnung erfolgt entweder mit der Werkstoffnummer (Beispiel: ENAW-5082) oder als Schreibweise mit chemischen Symbolen, z. B.: EN AW-ALMg4.5Mn0.7. Dabei werden die mittleren Legierungsgehalte der wichtigen Legierungselemente in Prozent angegeben. Weitere – nicht in der Bezeichnung genannte Legierungselemente können noch zusätzlich vorhanden sein.

Legierungsgruppen

Kaltverfestigte Legierungen

Die nicht aushärtbaren Aluminium-Legierungen werden durch Umformprozesse wie Kaltwalzen oder Kaltziehen auf ein höheres Festigkeitsniveau gebracht. In diese Gruppe gehören beispielsweise die Reinaluminiumsorten Al 99.5 und Al 99.0 sowie die Sorten AlMn1, AlMg1, AlMg2.5, AlMg3, AlMg2.7Mn, AlMg4Mn und AlMg4.5Mn.

Wie bei allen Metallen, deren Festigkeitszuwachs auf Kaltverfestigung beruht, kann bei diesen Legierungen eine erhöhte Temperatur zu einem irreversiblen Abfall der Zugfestigkeit führen – es sei denn, man kann eine weitere Kaltumformung anschliessen. Die Entfestigung ist auf Kristallerholung oder auf Rekristallisation zurückzuführen. Für Schweißverbindungen ist daher im Nahtbereich und in der Wärmeeinflusszone mit einem Festigkeitslevel ähnlich wie beim weichgeglühten Zustand zu rechnen. Bei einigen Legierungen wird die Rekristallisationsschwelle durch Mangan heraufgesetzt, so dass zumindest kein Weichglüheffekt durch das Schweißen erreicht wird.



Grafik 1: Einfluss von Magnesium auf die mechanischen Eigenschaften

Al-Werkstoffe mit Legierungsverfestigung

Bei diesen Aluminium-Werkstoffen wird durch gezielte Zugabe von Legierungselementen eine Festigkeitserhöhung angestrebt (Grafik 1). Die relevanten Legierungsbestandteile sind Kupfer, Silizium, Magnesium, Zink und Mangan. In geringen Mengen können auch Beryllium, Bor, Natrium, und Strontium vorkommen.

Zumeist handelt es sich nicht um binäre, sondern um ternäre oder komplexere Mehrstofflegierungen. Neben dem Analysengehalt spielt auch noch eine zentrale Rolle, ob die Zusatzelemente als Mischkristall gelöst, als ungelöste Kristalle oder als intermetallische Verbindungen im Gefüge vorliegen.

Aushärtbare Legierungen

Geeignete Aluminium-Legierungen lassen sich in ihrer Festigkeit durch eine spezielle Wärmebehandlung – bezeichnet mit Aushärten – erheblich verbessern. Es gibt einige wesentliche metallkundliche Voraussetzungen für diesen Prozess: Der Aluminium-Mischkristall muss eine mit der Temperatur abnehmende Löslichkeit für das Legierungselement besitzen. Dies trifft beispielsweise für Kupfer zu, welches bei Raumtemperatur nur zu etwa 0,3 % gelöst werden kann, bei 500 °C jedoch zu mehr als 4 % in Lösung gehen kann.

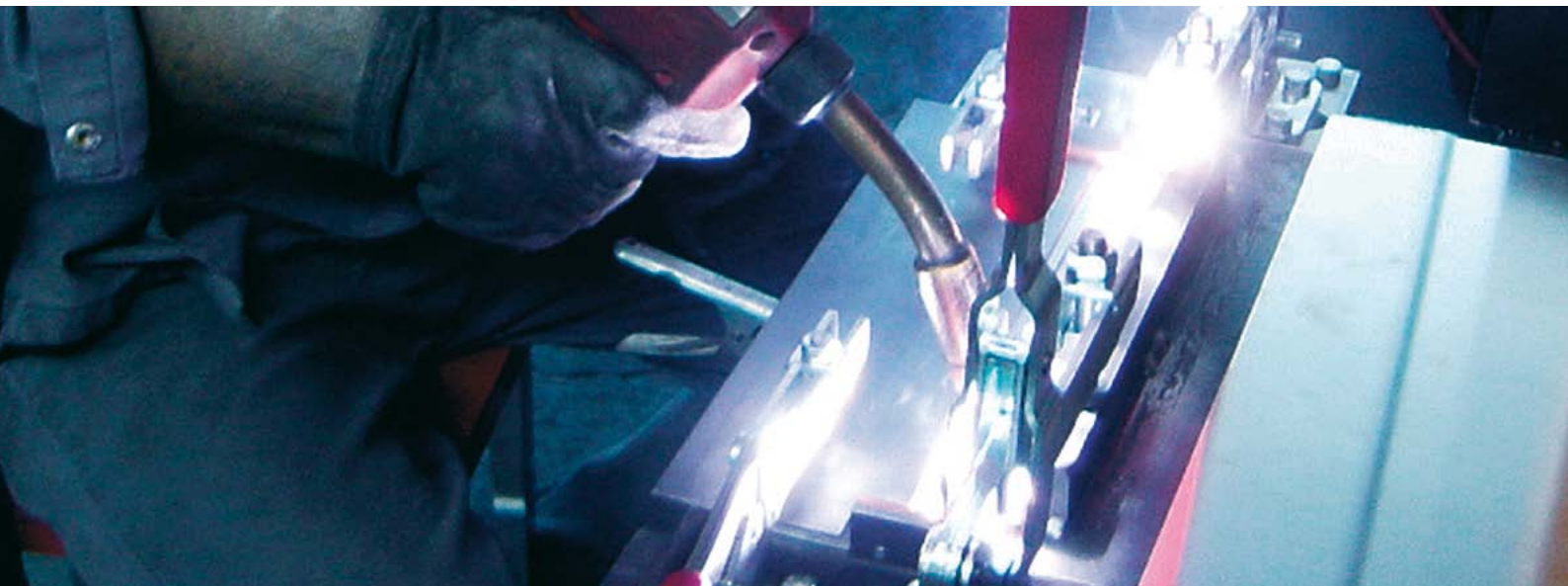
Weiterhin dürfen während des Abkühlens keine Gleichgewichtsphasen entstehen, sondern der homogene Mischkristall muss sich übersättigt unterkühlen lassen. Die dritte Voraussetzung ist, dass sich der übersättigte Mischkristall bei Raumtemperatur oder leicht erhöhten Temperaturen entmischt und die entstehenden Phasen so zu einem Festigkeitsanstieg führen.

In der Praxis werden drei Arbeitsschritte ausgeführt, die aus Lösungsglühen bei ca 500–570 °C, Abschrecken – beispielsweise durch Wasser – und Auslagern bei Raumtemperatur oder im Bereich von 120–160 °C bestehen.

Bei den aushärtbaren Legierungen finden besonders die Aluminium-Magnesium-Silizium- und die Aluminium-Zink-Magnesium-Typen weitreichende Verwendung. Bei den AlMgSi-Legierungen ist die Abkühlgeschwindigkeit nach dem Schweißen nicht hoch genug, dass ein übersättigter Mischkristall gebildet werden kann, so dass ein Auslagern keinen Ausgleich des Festigkeitsverlusts im Bereich der von der Wärme beeinflussten Zone bewirkt.

AlZnMg-Legierungen verlieren ebenfalls durch das Schweißen einen Teil ihrer Festigkeit. Die bei diesen Legierungen gebildeten Mischkristalle weisen eine geringere Lösungstemperatur auf und es ist nur eine gemässigte Abkühlgeschwindigkeit zur Unterdrückung der Ausscheidungsphasen notwendig.

Ein Schweißen dieser Werkstoffe ist praktisch wirksam wie ein weiteres Lösungsglühen und die gute Wärmeleitfähigkeit bewirkt ein ausreichendes Abschrecken. Die Kaltauslagerung benötigt einige Tage oder Wochen, so dass nach dieser Zeit wieder der ausgehärtete Zustand auch im Bereich der Schweißnaht erreicht wird.



MIG-Schweißen mit Push-Pull-Brenner

Werkstoff-Eigenheiten

Das Schweißen von Aluminium-Werkstoffen wird im Vergleich zum Schweißen von Stahllegierungen vielfach als schwierig bezeichnet, was auf spezielle physikalische Eigenschaften von Aluminium zurückzuführen ist. Die wichtigsten Besonderheiten werden im Folgenden beschrieben.

Oxidschicht mit hohem Schmelzpunkt

Aluminium bildet eine natürliche, etwa $0,01\ \mu\text{m}$ dicke Oxidschicht der Zusammensetzung Al_2O_3 , die für die Korrosionsbeständigkeit sorgt und die einen im Vergleich zum Metall hohen Schmelzpunkt von ca. 2050°C aufweist. Ihr spezifisches Gewicht ist höher als das vom reinen Metall, weshalb die Oxide im Schmelzbad nach unten sinken. Die Oxidschicht wirkt wie ein elektrischer Isolator und ist vor dem Schweißprozess zu beseitigen. Beim Autogenschweißen oder Hartlöten werden zu diesem Zweck Flussmittel eingesetzt, die das Oxid in eine spezifisch leichte und zähe Schlacke überführen, die den Schweißbereich schützt und weitere Oxidation unterbindet.

Die Oxidschicht lässt sich auch durch Verfahren wie Bürsten, Schleifen, Fräsen oder Beizen beseitigen. Bei den Lichtbogenverfahren werden bei plusgepolter Elektrode positive Ionen im Lichtbogen in Richtung negativ geladenes Werkstück beschleunigt. Somit wird die neu gebildete Al_2O_3 -Schicht aufgerissen. Das inerte Schutzgas verhindert dabei die Oxidneubildung und ermöglicht eine technisch hochwertige Schweißverbindung. Eine andere Theorie führt die Oxidschichtzerstörung auf austretende Elektronen zurück.

Wichtig ist auf jeden Fall eine penible Nahtvorbereitung, die ermöglichen soll, dass die absinkenden Oxide von der Stirnfläche der Nahtunterseite vollständig ausgeschwemmt werden können: deshalb soll die Nahtunterkante auf jeden Fall gebrochen sein.



WIG-Gleichstrom-Schweißen mit minusgepolter Elektrode

Gute Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit schwankt von ca. $230 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ bei reinem Aluminium bis zu Werten von $115\text{--}155 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ bei den Legierungen. Durch diese Eigenschaft wird eine hohe und konzentrierte Wärme-einbringung während des Schweißprozesses unabdingbar. Eine weitere Folge ist die hohe Abkühlgeschwindigkeit, welche die Porenbildung und den Gasblaseneinschluss aufgrund hoher Erstarrungsgeschwindigkeit begünstigt.

Hohe Schmelzwärme

Durch die hohe Schmelzenthalpie ist bezogen auf den Schmelzpunkt eine vergleichsweise hohe Wärmeenergie durch das jeweilige Schweißverfahren bereitzustellen. Das Erreichen der Schmelztemperatur wird zudem nicht durch Glühfarben angedeutet.

Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient

Der etwa doppelt so hohe Ausdehnungskoeffizient von Aluminium gegenüber Stahl im Bereich von ca. $20 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$ führt zu grösseren Schrumpfungen beim Abkühlen und macht besondere Massnahmen gegen Werkstückverzug und Schrumpfrisse erforderlich.

Tabelle 2: Eigenschaften verschiedener Aluminium-Legierungen

Legierung	Eigenschaften	Einsatzgebiet
Al99.0 ... 99.98	Festigkeit gering, Umformbarkeit gut, chemische Beständigkeit sehr gut	Elektrotechnik, Plattierungen
AlMn0.2 ... AlMn1	Festigkeit mässig, Zähigkeit gut, chemische Beständigkeit gut	Apparatebau, Fahrzeugbau, Lebensmittelindustrie
AlMg1 ... AlMg5	Zunahme der Festigkeit mit Mg-Gehalt, chemische Beständigkeit gut	Bauwesen, Apparate- und Ingenieurbau, Möbelindustrie
AlMgMn Beispiel: AlMg4.5Mn0.7	Warmfestigkeit verbessert durch Mangan	Apparate-, Geräte-, Fahrzeug- und Schiffbau
AlMgSi, AlSiMg	warm und kalt aushärtbar, gute Umformbarkeit, höhere Festigkeit	Bauwesen, Elektrotechnik, Eloxal-Qualität
AlCuMg	aushärtbar, Festigkeit hoch, chemische Beständigkeit mässig	Ingenieur- und Maschinenbau, Lebensmittelindustrie
AlZnMg Beispiel: AlZn4.5Mg1	aushärtbar, Festigkeit hoch, speziell bei Legierung mit Kupfer	hochfeste Bauteile zum Schweißen, Fahrzeugbau
AlSi5 ... AlSi12	Legierung mit Silizium verbessert Fließfähigkeit und Giessbarkeit, vor allem bei Siliziumgehalten über 7 %	Gussteile, Bauwesen, Eloxal-Qualität

Das Schweißen von Aluminium-Legierungen.

Aluminium ist ein Werkstoff mit besonderen Eigenschaften. Berücksichtigt man diese, dann ist das Schweißen dieses Werkstoffs kein Mysterium.

Schweisseignung von Aluminium

Nachfolgend werden spezifische Besonderheiten einzelner Legierungsgruppen beschrieben, eine zusammenfassende Darstellung ist in Tabelle 2 und in Tabelle 3 zu sehen.

Reinaluminium und Aluminium-Mangan-Legierungen

Reinaluminium zeichnet sich durch eine gute Schweisseignung aus, wenngleich im Vergleich zu Aluminium-Legierungen mit einer stärkeren Neigung zu Porenbildung gerechnet werden muss. Die hohe Wärmeleitfähigkeit erfordert einen hohen Wärmenachschub und bei grösseren Wandstärken eine Vorwärmung vor dem Schweißen. Typische Vorwärmtemperaturen und Vorwärmzeiten sind in Tabelle 5 auf Seite 10 angegeben.

Aluminium-Magnesium und Aluminium-Silizium-Legierungen

Bei diesen Legierungen ist die jeweilige Zusammensetzung entscheidend für die Rissanfälligkeit, da AlMg-Legierungen bei 1,2 % Magnesium und AlSi-Legierungen bei etwa 0,75 % Silizium ein Maximum der Heissrissempfindlichkeit aufweisen (Grafik 2, S. 8).

Es gilt die Faustregel: Höher legierter Zusatz ist meist rissicherer zu verschweißen. Der Zusatzwerkstoff ist deshalb auf jeden Fall deutlich überlegiert mit 2 % Silizium resp. 3,5 % Magnesium. Eine weitere Verbesserung der Schweissicherheit ist durch Mangan oder Chromzusätze erzielbar, daher ist AlMg4.5Mn günstiger in der Schweisseignung als die AlMg-Typen.

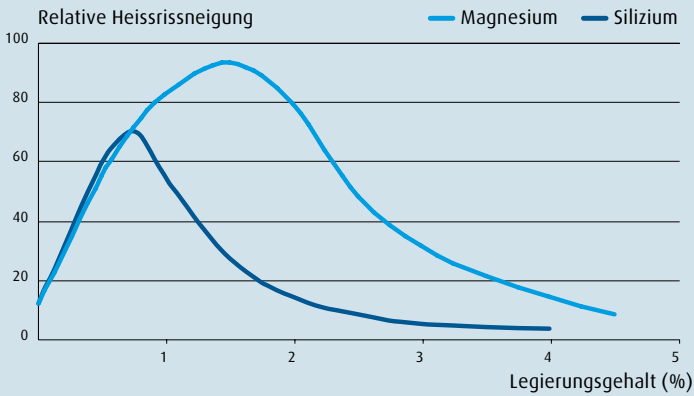
Ist bei unterschiedlichen Werkstoffen einer der beiden Werkstoffe Magnesium-legiert, richtet sich der Zusatzwerkstoff nach diesem.

Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierungen

Diese Legierungsgruppe ist – abhängig von der Zusammensetzung – grundsätzlich rissgefährdet und man verwendet daher nicht einen artgleichen Zusatzwerkstoff, sondern schweisst mit SG-ALSi5 nach DIN 1732. Soll das Werkstück nach dem Schweißen anodisiert werden, so verwendet man als Zusatzwerkstoff hingegen SG-ALMg3. Werden hohe Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften gestellt, so ist der Zusatzwerkstoff SG-ALMg4.5Mn zu wählen.

Tabelle 3: Schweisseignung verschiedener Aluminium-Legierungen

Legierung	Schweisseignung	Schweisszusatz-Werkstoff
Al99.0 ... 99.98	gut	SG-Al99.5, SG-Al99.5Ti, SG-Al99.8
AlMn0.2 ... AlMn1	sehr gut	SG-ALMn, SG-ALMg3 ... 5
AlMg1 ... AlMg5	gut	SG-ALMg3, SG-ALMg5, SG-ALMg4.5Mn
AlMg4.5Mn	sehr gut	SG-ALMg5, SG-ALMg4.5Mn
AlMgSi, AlSiMg, AlSiMgMn	gut	SG-ALMg3 ... 5, SG-ALSi5
AlCuMg	Neigung zu Heissrissen	
AlZnMg Beispiel: AlZn4.5Mg1	nur Legierung AlZn4.5Mg1 gut	SG-ALMg5, SG-ALMg4.5Mn
AlSi5 ... AlSi12	bei Kupfergehalt unter 1 % gut	Al-Si5, SG-ALSi12



Grafik 2: Verlauf Heissrissneigung

Aluminium-Zink-Magnesium-Legierungen

AlZnMg-Legierungen sind aushärtbar und neigen aufgrund der Menge an Legierungsbestandteilen zur Rissbildung beim Schweißen – ein artgleiches Schweißen ist daher nicht möglich. Als gut schweisbar gilt die Legierung AlZn4.5Mg1. Es wird normalerweise mit nicht aushärtendem Zusatzwerkstoff SG-ALMg5 oder SG-ALMg4.5Mn gearbeitet.

AlMgCu- und AlZnMgCu-Legierungen

Legierungen dieser Zusammensetzung sind hochfest aushärtbar und gelten als sehr rissempfindlich: ein Schmelzschweißen ist daher nicht oder nur sehr bedingt möglich – je nach Höhe des Kupfergehalts.

Besonderheiten beim Schweißen

Problem Rissbildung

Beim Erstarren und Schrumpfen besteht die Gefahr erhöhter Rissbildung – dies besonders dann, wenn die Legierung ein grosses Erstarrungsintervall aufweist und niedrig schmelzende Korngrenzen-Eutektika bildet. Die Rissneigung hängt stark vom Legierungstyp ab und ist deshalb bei der Wahl des Zusatzwerkstoffs immer mit zu berücksichtigen. Tabelle 4 zeigt für einige Legierungstypen die Heissrissbereiche und empfohlenen Mindestgehalte an Silizium, Kupfer und Magnesium im Zusatzwerkstoff. Auch der Bleigehalt im Aluminium sollte grundsätzlich möglichst gering sein.

Endkraterisse können durch ein bei modernen Schweißanlagen integriertes Endkraterfüllprogramm oder durch Schweißen auf ein zusätzliches Auslaufblech vermieden werden.

Risse in der Nahtwurzel sind häufig auf Aluminiumoxide zurückzuführen und werden durch eine untere Blechanfasung verhindert.

Tabelle 4: Heissrissneigung von Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit von Silizium- und Magnesiumgehalt

Legierungsgruppe	höchste Rissempfindlichkeit	praktischer Mindestgehalt	kritischer Temperaturbereich
AlSi	0,75 % Si	2,0 % Si	660–577 °C
AlCu	3,0 % Cu	5,0 % Cu	660–577 °C
AlMg	1,2 % Mg	3,5 % Mg	660–449 °C
AlSiMg	0,5–0,8 % Si und 0,2–1,2 % Mg	2,0 % Si	



Bauteil aus AlMg4.5Mn, WIG-geschweisst mit SG-AlMg4.5Mn unter MISON® He20



MISON® He20: MIG-Schweissnaht an Aluminium-Behälter

Problem Porenbildung

Als primäre Ursache für die Porenbildung im Schweißgut ist die sprunghafte Abnahme der Gaslöslichkeit bei der Erstarrung zu sehen. Hier tritt besonders Wasserstoff in Erscheinung, da allfällig vorhandener Sauerstoff zu Al_2O_3 abgebunden wird und Stickstoff Aluminium-Nitrid bildet. Die sinkende Gaslöslichkeit führt zu Ausscheidungen submikroskopischer Gasblasenkeime, die durch weitere Gasaufnahme anwachsen und sich in der Schmelze nach oben bewegen. Die Entgasung ist bei hohen Schweißgeschwindigkeiten und schneller Schmelzbaderstarrung vielfach nicht vollständig abgeschlossen und es kommt somit zu Poren im Schweißgut.

Die Quellen für Wasserstoff sind vielfältig und reichen von Feuchtigkeit in der Oxidschicht über falsche Brennerneigung bis hin zur Aufnahme von Luftfeuchtigkeit durch das Schutzgas-Schlauchmaterial. Da die Differenz des Wasserdampf-Partialdrucks zwischen der Umgebungsluft und dem Schutzgasstrom beachtlich ist, kann die Feuchtigkeit relativ leicht durch Diffusion in das Schutzgas und in den Lichtbogen gelangen.

Generell ist das Porenproblem beim MIG-Schweissen grösser als beim WIG-Schweissen, da beim verhältnismässig ruhigen WIG-Prozess weniger feuchte Umgebungsluft in die Schutzgas-Atmosphäre gelangt.

Grundsätzliche Massnahmen zur Porenvermeidung sind unten aufgeführt.

Verfärbungen im Bereich der Schweissnaht

Im Bereich der Schweisszone treten unabhängig vom verwendeten Schweißverfahren schwache bis ausgeprägte Verfärbungen auf, die mit höheren Gehalten an Magnesium und Silizium zunehmen. Ist nach dem Schweißen eine Eloxierung vorgesehen, so muss bei heterogenen Legierungen mit stärkeren Verfärbungen gerechnet werden – vor allem dann, wenn einzelne Gefügebestandteile bei der Eloxierung angeätzt oder durch die Elektrolytlösung herausgelöst werden.

Wichtige Massnahmen zur Porenvermeidung:

- Saubere und trockene Oberflächen von Grundwerkstoff und Zusatzmaterial
- Vorbehandlung durch Schleifen, Bürsten, Beizen, Entfetten
- Ruhiger Lichtbogen und ruhige Brennerführung
- Turbulenzfreier Schutzgasstrom mit richtiger Dosierung und Reinheit
- Gross dimensionierte und saubere Schutzgasdüse
- Schlauchpaket kurz halten
- Brenner mit geschlossenem Kühlsystem verwenden
- Ausreichend lange Zeit spülen vor dem Schweißen
- Wurzelschutz vorsehen
- Möglichst in Position PA oder PF schweissen
- Schweisspositionen PC und PE vermeiden



Unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit wirkt auf Einbrand und Nahtform



MIG-Schweissanlage für Aluminium

Schweisstechnologie

Arbeitsplatz

Beim Schweißen von Aluminium-Werkstoffen ist auf äusserste Sauberkeit am Arbeitsplatz, bei den Werkzeugen, Spannmitteln und Zusatzwerkstoffen zu achten. Eine Trennung von anderen Arbeitsplätzen, an denen Baustahl oder hochlegierter Stahl verarbeitet wird, ist anzustreben, um gegenseitige Verunreinigungen zu vermeiden.

Vorwärmen

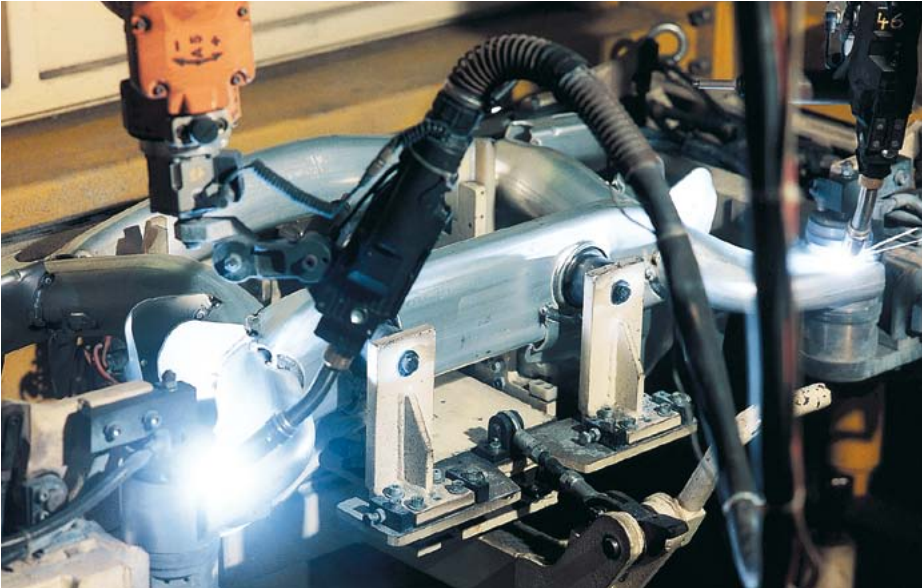
Das Vorwärmen von Aluminium-Werkstoffen ist immer dann erforderlich, wenn sich trotz Einhaltung der richtigen Schweißparameter und trotz Verwendung von Helium-haltigen Schutzgasen kein genügender Einbrand erzielen lässt. Die Vorwärmung kann mit Autogenbrennern bei leicht reduzierender Flammeneinstellung erfolgen. Ein unerwünschtes Anwachsen der Oxidschicht kann durch Verwendung grosser Vorwärbrenner erreicht werden. Um die gewährleistetesten Werkstoffeigenschaften nicht zu gefährden, sind die Empfehlungen der Lieferwerke zu den Vorwärmtemperaturen und Haltezeiten zwingend einzuhalten, Richtwerte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Richtwerte für maximale Vorwärmtemperaturen

Werkstoff	T (°C)
AlMgSi	180
AlSi1MgMn	200
AlSiMg	220–250
AlZn4.5Mg1	140
AlMg4.5Mn0.7	150–200
AlMg4.5Mn0.7	150–200

Auswahl des Schweißzusatzwerkstoffs

Die richtige Auswahl der Zusatzwerkstoffe ist für eine fachgerechte Schweißung wesentlich, vor allem im Hinblick auf die hohen Geschwindigkeiten bei den Schutzgasschweißverfahren, die eine schnelle Erstarrung der Schmelze bewirken. In Tabelle 3 (S. 7) sind die grundsätzlichen Zusatzwerkstoffe für die wichtigsten Legierungstypen aufgeführt. Neben der richtigen Analyse ist zusätzlich auf die richtige Einstellung der kornfeinenden Mikrolegierungselemente, auf enge Toleranzen und auf eine sorgfältige Spulung mit hohem Vorbiegemass und auf lagengespulte drallfreie Ausführung zu achten.



MIG-Schweissen von PKW-Achsbauteilen



MIG-Schweissanlage für Aluminium

Auswahl des Schweissverfahrens

Immer mehr wird das MIG-Verfahren aus wirtschaftlichen Erwägungen bevorzugt. Auch im dünneren Blechdickenbereich hat sich dieses Verfahren unter Anwendung der Impulsschweisstechnik immer grössere Anwendungsfelder erschlossen.

Bei sehr geringen Werkstückdicken, ungünstiger Zugänglichkeit oder höchsten Anforderungen an Oberfläche und Porensicherheit wird bevorzugt das WIG-Verfahren eingesetzt.

Weitere – in geringerem Umfang eingesetzte – Verfahren sind Gas-schweissen, Widerstandspressschweissen, Lichtbogenhandschweissen, Reibschweissen, Rührreibschweissen, Ultraschallschweissen, Elektronenstrahl- und Laserschweissen. Die grösste wirtschaftliche Bedeutung und Verbreitung haben jedoch die Schutzgasverfahren MIG- und WIG-Schweissen.

MIG-Schweissen

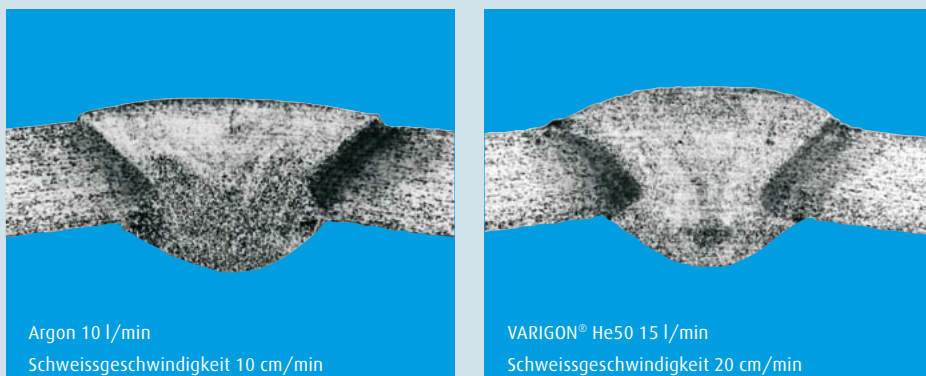
Das MIG-Schweissen ist vor allem bei grösseren Blechstärken ein wirtschaftliches Fügeverfahren. Bei Aluminium-Werkstoffen wird üblicherweise mit Gleichstrom und positiver Elektrodenpolung geschweisst, damit die Oxidhaut zerstört und ein feiner Tropfenübergang erzielt wird. Ab ca. 4 mm Blechdicke wird im Sprühlichtbogen gearbeitet.

Zur Erweiterung des Einsatzgebietes auf dünneres Material wurde das MIG-Impulsschweissen entwickelt. Hierbei kann über verschiedene Pulsparameter eine definierte Tropfengrösse und Ablösung erzielt und insgesamt die Wärmeeinbringung reduziert werden. Die typischen Parameter wie Pulsfrequenz, Grund- und Impulsstromstärke, Zeitverlauf, Impulsstromform sind in weiten Bereichen wählbar und ermöglichen bei richtiger Wahl einen kurzschlussfreien Werkstoffübergang mit einem stabilen Lichtbogen und geringer Elektrodenbelastung und somit ein hervorragendes Nahtbild. In den Grundstromphasen kann sich die Schmelze beruhigen und entgasen.

Auch dünne Bleche können mit relativ dicker Drahtelektrode impuls-geschweisst werden: dies ist vor allem zur Porenreduzierung willkommen. Die Impulstechnik führt ausserdem zu einer geringeren Magnesium- und Zinkverdampfung und somit zu besseren metallurgischen Eigenschaften der Schweissnaht.

Moderne Schweissgeräte verfügen zudem über spezielle Steuerungsprogramme, mit denen beispielsweise spritzerfreies Lichtbogenzünden oder Endkraterauffüllen möglich ist. Auch eine intermittierende Drahtförderung zur Erzielung einer gleichmässigen Nahtschuppung gehört bei modernen Schweissanlagen zum Stand der Technik. Zur Sicherstellung einer einwandfreien und störungsfreien Drahtförderung ist zudem ein Drahtantrieb im Brenner sinnvoll. Vielfach wird auch mit einer im Handgriff integrierten Fernsteuerung zum Abruf verschiedener Schweissaufgaben gearbeitet.

Weitere technische Entwicklungen gehen in Richtung gepulstes MIG-Wechselstromschweissen, um den Bauteilverzug und die Spaltüberbrückbarkeit speziell bei Dünnschweissungen zu optimieren.



Mehr Heliumanteil führt zu höheren Schweissgeschwindigkeiten. Hier beim Schweissen einer 3 mm dicken AlZn 4,5 Mg 1-Legierung

WIG-Schweissen

Das WIG-Schweissen von Aluminium-Legierungen ist ein weit verbreitetes Standardverfahren. Es wird normalerweise mit Wechselstrom geschweisst, bei dem die positive Halbwelle die Aluminiumoxidschicht zerstört. Während der Stromverlauf über die negative Halbwelle verläuft, wird die Wolframelektrode weniger stark thermisch belastet. Während des Nulldurchgangs erlischt der Lichtbogen bei sinusförmigem Stromverlauf und muss über Hochfrequenz-Spannungsimpulse wieder gezündet werden. Moderne WIG-Stromquellen ermöglichen einen rechteckigen Stromverlauf und verhindern ein Verlöschen des Lichtbogens aufgrund des praktisch senkrechten Nulldurchgangs. Somit ist ein störungsfreies und gleichmässiges Schweissen gewährleistet.

Schutzgase für das MIG- und WIG-Schweissen

Das MIG-Schweissen unterscheidet sich vom MAG-Schweissen generell nur durch den verwendeten Schutzgastyp: es werden nur inerte Schutzgas-Gemische verwendet, da die zu verschweisenden Metalle keine aktiven Gasbestandteile vertragen. Mit Vorteil können jedoch zur Stabilisierung des MIG-Lichtbogens sehr geringe Mikrodotierungen von Sauerstoff oder Stickstoffmonoxid toleriert werden, die in vielen Fällen noch keine schädlichen Einflüsse auf den Werkstoff ausüben.

Als Basisschutzgas wird Argon verwendet, das sich als Edelgas absolut reaktionsfrei verhält und mit dem Grund- und Zusatzwerkstoff keinerlei chemische Reaktionen eingeht. Es schützt die reaktionsfreudige Metallschmelze vor chemischen Wechselwirkungen mit Sauerstoff und Stickstoff. Argon ist relativ leicht zu ionisieren und erleichtert somit die Lichtbogenzündung. Argon ist spezifisch schwerer als Luft und deckt somit die Schmelze beim Schweissen in Normalpositionen gut ab (Bild S. 13: oben links).

Ein weiteres beim MIG- und WIG-Schweissprozess verwendetes Gas ist Helium, das praktisch nie allein, sondern als Beimischung zu Argon eingesetzt wird. Es ist ebenso wie Argon völlig reaktionslos und geht keine chemischen Verbindungen ein.

Helium zeichnet sich vor allem durch seine ausserordentlich gute Wärmeleitfähigkeit aus und verbessert so die Übertragung der Lichtbogenwärme auf das Schmelzbad. Hierdurch wird einerseits die Wärmeabfuhr bei gut leitenden Metallen wie Aluminium oder Kupfer kompensiert und andererseits ein besseres Schweissnahtbild erzeugt.

Da Helium ein sehr niedriges spezifisches Gewicht hat, ist für eine ausreichende Schmelzenabdeckung ein grösserer Volumenstrom notwendig. Die Ionisierungsenergie von Helium ist vergleichsweise hoch und erfordert eine höhere Schweissspannung als Argon. Die Lichtbogenzündung wird mit zunehmendem Heliumanteil im Schutzgas schwieriger (Bild S. 13: oben rechts).

Kohlendioxid und Wasserstoff sind als Schutzgasbestandteile für die inert Verfahren aufgrund ihrer chemischen Reaktionsfreudigkeit ungeeignet und werden nicht verwendet.



WIG-Lichtbogen unter Argon



WIG-Lichtbogen unter Helium

In sehr geringen Dosierungen im ppm-Bereich können Sauerstoff- oder Stickstoffmonoxid-Beimischungen die Lichtbogenstabilität speziell beim Wechselstrom-WIG-Schweißen deutlich verbessern und werden häufig verwendet; streng ausgelegt sind diese dotierten Gase nicht mehr als vollkommen inert anzusehen. Trotzdem hat es sich eingebürgert, weiterhin vom MIG-Verfahren zu sprechen und nicht vom MAG-Schweißen.

Diese Schutzgase eignen sich auch zum Schweißen von Kupfer- oder Nickelwerkstoffen. Für das MIG-Schweißen sind Kurz-, Sprüh- und Impulslichtbogen anwendbar.

Besonders für weichere Aluminium-Zusatzwerkstoffe bietet der Impulslichtbogen entscheidende Vorteile durch den Einsatz von Drahtelektroden grösseren Durchmessers mit erhöhter Förderstabilität. Der vergleichsweise heissere Lichtbogen der VARIGON® He- und VARIGON® HeS-Schutzgasgemische hat sich besonders für die gut wärmeleitenden Aluminium- und Kupferwerkstoffe bewährt. Magnesium und seine Legierungen sind besser mit Schutzgasen ohne Helium zu schweißen.

Die Dotierung der inerten Gase führt beim Schutzgasschweißen durch die verbesserte bessere Lichtbogenstabilität zu einem gleichmässigen Nahtaussehen. Zusätzlich können zudem in Einzelfällen Einbrandverbesserungen im Schlibbild nachgewiesen werden, hervorgerufen durch die günstigeren Lichtboneigenschaften.

Als Dotierungsstoffe dienen entweder 275 vpm Stickstoffmonoxid in MISON® Ar und MISON® He20 oder 300 vpm Sauerstoff in der VARIGON® S-Reihe. Als Ergebnis resultiert daraus eine deutliche Spritzerreduzierung sowie ein besseres Nahtaussehen durch feinere Schuppung der MIG-Schweissnaht.

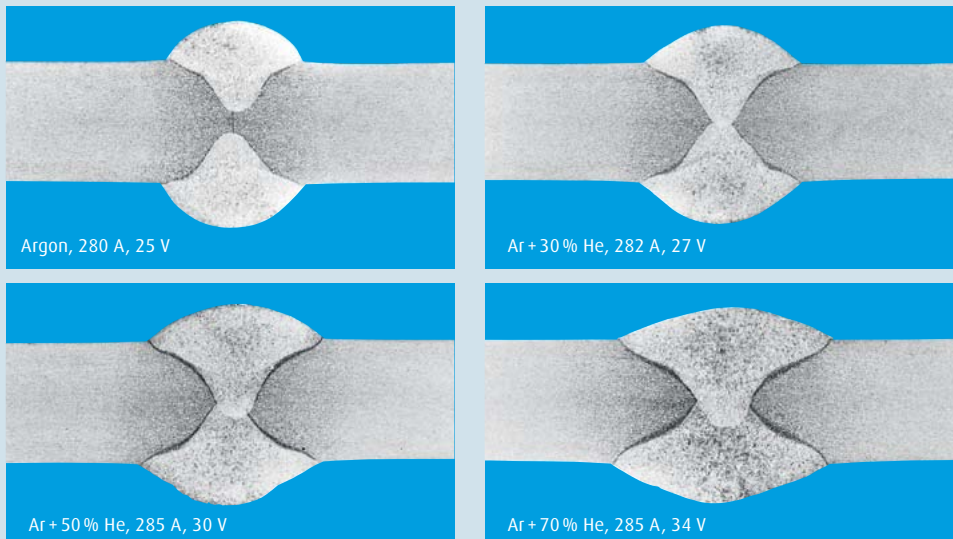
Schutzgase für das MIG- und WIG-Schweißen von Aluminiumlegierungen sind folgende Gase und Gasgemische:

Argon 4.6	100 % Argon technischer Reinheit
Argon 4.8	100 % Argon hoher Reinheit
MISON® Ar	Argon mit 275 ppm NO
VARIGON® He10	Argon mit 10 % Helium
MISON® He20	Argon mit 20 % Helium und 275 ppm NO
VARIGON® He30S	Argon mit 30 % Helium und 300 ppm O ₂
VARIGON® He50	Argon mit 50 % Helium
VARIGON® He60	Argon mit 60 % Helium
VARIGON® He70	Argon mit 70 % Helium

Tabelle 6: Korrekturwerte für Helium-haltige Schutzgase

KLB: Kurzlichtbogen
SLB: Sprühlichtbogen
ILB: Impulslichtbogen

Schutzgas	Verbrauch	K-Faktor
Argon/MISON® Ar	12 – 15 KLB	1,00
Argon/MISON® Ar	12 – 15 SLB, ILB	1,00
VARIGON® He10	15 l/min	1,06
MISON® He20	18 l/min	1,12
VARIGON® He30S	20 l/min	1,17
VARIGON® He50	28 l/min	1,35
VARIGON® He70	35 l/min	1,70



Hinweise zur Helium-Anwendung

Ein zunehmender Helium-Anteil verlangt bei gleicher Lichtbogenlänge eine höhere Lichtbogenspannung. Helium im Schutzgas führt ausserdem zu einer breiteren und damit flacheren Naht. Der Einbrand ist nicht mehr «fingerförmig» wie bei Argon, sondern wird runder und tiefer.

Die günstigeren Einbrandverhältnisse erleichtern das sichere Durchschweissen im Wurzelbereich (Bilder oben) und erlauben eine höhere Schweissgeschwindigkeit. Helium verbessert ausserdem die Entgasungsbedingungen des Schmelzbades und vermindert die Porosität. Häufig können höhere Schutzgaskosten durch kürzere Lichtbogenbrennzeiten und reduzierte Nacharbeitskosten mehr als kompensiert werden.

Helium ist bedeutend leichter als Luft. Diese Eigenschaft muss sowohl bei der Messung des Durchflusses als auch beim Festlegen der Mindest-Schutzgasmenge berücksichtigt werden. Die Mengenkorrektur am Argon-Flowmeter erfolgt, indem die Schutzgasmenge mit dem Korrektur-Faktor multipliziert wird oder umgekehrt formuliert: Die benötigte Schutzgasmenge geteilt durch den Korrekturfaktor ergibt den am Argon-Durchflussmesser einzustellenden Durchflusswert (Tabelle 6 auf S. 13).

Einen Sonderfall stellt das WIG-Gleichstrom-Schweissen mit minusgepolter Elektrode dar: diese Verfahrensvariante funktioniert nur mit mindestens 85% Helium und 15% Argon. Dieses Verfahren wird vor allem im Bereich Instandsetzungsschweissen von Aluminium-Motorengehäusen eingesetzt und ermöglicht einen guten Einbrand an dickwandigen Bauteilen. Es ist zu beachten, dass diese spezielle Schweissttechnologie patentrechtlich geschützt ist.

Literatur

Trube, S.

Schutzgasschweissen von A-Z

Schutzgase für Aluminium bis Zirkon
unveröffentlichter Bericht der Linde AG
Höllriegelskreuth, 1998

Brune, E.

Schweisschutzgase

Technica 10/99, S. 50–54
Rapperswil, 1999

N.N.

Schutzgasschweissen TIG und MIG von Aluminium-Werkstoffen

Bericht der Alusuisse AG
Zürich, 1991

Wesling, V.

Schweisstechnik II

Vorlesungsscript
Institut für Schweisstechnik und
abtragende Fertigungsverfahren
Technische Universität Clausthal
Clausthal, 2003

Dorn, L.

Schweisverhalten von Aluminium und seinen Legierungen

Mat.-wiss. U. Werkstofftech. 29
S. 412–423
Weinheim, 1998

Brune, E.

Schweissen verbindet

Schrift Fa. PanGas
Dagmersellen, 2003

Die richtigen Schutzgase für jedes Schweissverfahren

Verfahren

Schutzgase

Werkstoffe

	MAG Metall-Aktiv-Gas-Schweissen	COXOGEN® 5/5 CORGON® 15/5 COXOGEN® 10 COXOGEN® 15 CORGON® 18	Kohlendioxid CRONIGON® He20 MISON® 18 MISON® 8 MISON® 25	Rohr Stahl, Baustahl, Kesselbaustahl, Schiffbaustahl, Feinkornbaustahl, Einsatz- und Vergütungsstahl
	MSG-HL Metall-Schutzgas-Hochleistungs-Schweissen	CRONIGON® CRONIGON® He20 CRONIGON® He33 CORGON® He30	CRONIGON® He30S MISON® 2 MISON® 2He CORGON® 55 MISON® 8	CrNi-Stahl, Cr-Stahl und sonstige legierte Stähle, Ni-Basislegierungen, Duplex- und Superduplexstähle Rohr Stahl, Baustahl, Kesselbaustahl, Schiffbaustahl, Feinkornbaustahl
	MIG Metall-Inert-Gas-Schweissen	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar VARIGON® He10 MISON® He20 VARIGON® He30S	VARIGON® He50 VARIGON® He60 VARIGON® He70	Aluminium, Kupfer, Nickel und andere Legierungen
	MSG-Löten	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar MISON® 2	CRONIGON®	Verzinkte, unlegierte Baustähle
	WIG/TIG Wolfram-Inert-Gas-Schweissen	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar VARIGON® He10 MISON® He20 VARIGON® He30S	VARIGON® He50 VARIGON® He60 VARIGON® He70 Helium 4.6	Alle schweisbaren Metalle wie unlegierte und legierte Stähle, Aluminium, Kupfer
		HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 7 CRONIWIG® N3He MISON® H2	HYDRARGON® 5 CRONIWIG® N3	CrNi-Stähle, Nickel- und Ni-Legierungen
		Argon 4.8/Argon 5.0		Gasempfindliche Stoffe wie Ti, Ta, Zr
	WP Wolfram-Plasma-Schweissen	Zentrumsgas/Plasmagas: Argon 4.8 Aussengas: Argon 4.6, MISON® Ar HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Helium 4.6 VARIGON® He60 MISON® Ar	Alle schweisbaren Metalle siehe WIG-Schweissen
	Wurzelschutz Formieren	Formiergas 5 Formiergas 8 Formiergas 10 Formiergas 25 Argon 4.8	HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Für alle Werkstoffe, wenn wurzelseitig Oxidation vermieden werden soll. Bei mehr als 10 % H ₂ -Anteil abfackeln. Für gasempfindliche Werkstoffe wie Titan, Tantal, Zirkonium
	Laser Schweissen und Schneiden	Argon 4.6, Argon 4.8 Helium Spezialgase Betriebsgase z. B. für CO ₂ -Laser: LASPUR®		Alle schweisbaren Metalle
	Lichtbogen-Bolzenschweissen	CORGON® 18	MISON® 18	Baustahl
		CRONIGON® HYDRARGON® 2	CRONIGON® He33 MISON® 2	Hochlegierte Stähle
		VARIGON® He30S		Aluminium und Aluminium-Legierungen

Weltweiter Vorsprung durch Innovation.

PanGas übernimmt als Tochter der weltweit führenden Linde Group mit zukunftsweisenden Produkt- und Gasversorgungskonzepten eine Vorreiterrolle im Markt. Als Technologieführer ist es unsere Aufgabe, immer wieder neue Massstäbe zu setzen. Angetrieben durch unseren Unternehmergeist arbeiten wir konsequent an neuen hochqualitativen Produkten und innovativen Verfahren.

PanGas bietet mehr: Mehrwert, spürbare Wettbewerbsvorteile und erhöhte Profitabilität. Jedes Konzept wird exakt auf die Kundenbedürfnisse abgestimmt: individuell und massgeschneidert. Das gilt für alle Branchen und für jede Unternehmensgrösse.

Wer heute mit der Konkurrenz von morgen mithalten will, braucht einen Partner an seiner Seite, für den höchste Qualität, Prozessoptimierungen und Produktivitätssteigerungen tägliche Werkzeuge für optimale Kundenlösungen sind. Partnerschaft bedeutet für uns nicht nur «wir für Sie», sondern vor allem auch «wir mit Ihnen». Denn in der Zusammenarbeit liegt die Kraft wirtschaftlichen Erfolgs.

PanGas – ideas become solutions.