

SCHWEISSSCHUTZGAS: HILFSSTOFF ODER OPTIMIERENDES WERKZEUG?

Autoren:

Dipl.-Ing. Chr. Matz, Linde AG, Gases Division, BA MPG, Unterschleißheim (© 2008)

Dipl.-Ing. F. Steller, Linde AG, Gases Division, Hamburg (© 2012)

1. Abstract

Eine unter Schweißern weitverbreitete Meinung zu Schutzgasen ist, dass sie alle mehr oder weniger gleich sind, und dass ein Wechsel keinen merklichen Einfluss auf das Schweißergebnis hat. Folglich wird das Schutzgas oft als ein notwendiges Übel beim Schutzgas-Schweißprozess angesehen, ein Verbrauchsstoff, der irgendwo zum niedrigst möglichen Preis eingekauft wird. Aber hält das Schweißschutzgas tatsächlich nur die unerwünschte Luft von der Schweißstelle fern? Ist es wirklich so, dass sie austauschbar sind und das billigste genügt? Stimmt die Ansicht, dass billig einkaufen Geld spart?

Der Vortrag wird verdeutlichen, dass das Schutzgas sehr wohl einen direkten Einfluss auf den Schweißprozess hat, und dass die durchdachte Auswahl des Schutzgases sich immer deutlich auf die Qualität und die Produktivität auswirkt. Somit wird das Schutzgas zu einem Prozessgas, und dadurch ein notwendiges Übel zu einem optimierenden Werkzeug.

Die Vorzüge einer durchdachten Auswahl des Prozessgases werden anhand einiger Beispiele aufgezeigt. Diese reichen vom WIG- zum MAG-Tandem-Prozess, und vom hochlegierten Stahl zu Aluminium.

2. Einleitung

Das industrialisierte Schweißen ist seit seinem Beginn in der Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute unter ständiger Entwicklung. Während man sich anfänglich mehr mit den Grundlagen beschäftigte (z. B. Schweißen mit Metalldraht im Jahr 1888, UP-Schweißen im Jahr 1930 oder WIG-Schweißen im Jahr 1942), wird aktuell mehr an der Verbesserung dieser Verfahren gearbeitet (z. B. Synergiekennlinien oder neue Software für Stromquellen).

Ebenso änderten sich die Anforderungen an die Verfahren. Das heutige Schweißen ist schwieriger, da oft auf neuen Materialien wie hochfestem Stahl, beschichtetem Stahl, Aluminium oder einem Materialmix geschweißt wird. Zum Schweißen dieser Materialien, oder um bei Standardanwendungen produktiver zu sein, müssen oft Speziallösungen entwickelt werden, besonders bei mechanisierten oder robotisierten Anwendungen. In der Entwicklung dieser Sonderlösungen müssen alle einwirkenden Komponenten berücksichtigt werden. Genau wie die angepasste Auswahl eines Werkstoffes oder einer Schweißstromquelle trägt auch die durchdachte Auswahl des Schweißschutzgases zu einem optimierten Schweißergebnis bei.

3. Schweißen in der verarbeitenden Industrie

In den meisten Fällen in der verarbeitenden Industrie findet man den Schweißprozess nahe dem Ende der Produktionskette, in der Endmontage. Eine Folge daraus ist, dass alle Ungenauigkeiten, alle Toleranzen, alle Maßschwankungen usw. der vorhergehenden Produktionsschritte sich vor dem Schweißen aufsummieren, wodurch der Prozess destabilisiert werden kann, und weshalb dann keine konstanten Ergebnisse erzielt werden.

Die Möglichkeiten, über das Schweißschutzgas stabilisierend auf den Schweißprozess Einfluss zu nehmen und die genannten Instabilitäten auszugleichen, werden leider allzu oft außer Acht gelassen, da das Schutzgas zumeist nur als Notwendigkeit zum MSG-Schweißen gesehen wird. Doch Schutzgas hält nicht nur die Atmosphäre von der Schweißstelle fern.

Weitere Wirkungen sind:

- Beeinflussung des Lichtbogens (elektrisch, strömungstechnisch, thermisch)
- Beeinflussung der Viskosität und Oberflächenspannung von Schweißbad und Schweißtropfen
- Beeinflussung des Benetzungsverhaltens
- Metallurgische Reaktion mit Schweißbad und Zusatzwerkstoff
- Regelung des Einbrandes
- Beeinflussung von Geometrie und Aussehen der Naht
- Beeinflussung von Strahlung, Wellenlänge und Strahlungsverlusten
- Beeinflussung vom Schadstoffemissionen etc.

Berücksichtigt man all diese Möglichkeiten, den Schweißprozess zu beeinflussen, wird es offensichtlich, dass genaues Wissen um die Gaseigenschaften und ihre vorteilhafte Auswahl einige positive Auswirkungen haben wird. Die Kapitel 4 bis 7 geben Beispiele.

4. Wasserstoff und Helium: Verstärkte Wärmeeinbringung

Abhängig von der Schweißanwendung kann die Verwendung der aktiven Gase CO_2 und O_2 nur eingeschränkt oder gar nicht erlaubt sein. In diesen Fällen ist die einzig verbleibende Möglichkeit, die Viskosität des Schmelzbades und seine Benetzungseigenschaften zu beeinflussen, die Verwendung von Wasserstoff oder Helium (siehe Bild 1).

Wasserstoff ist das Gas mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit. Hinzu kommt, dass es ein molekulares Gas ist, das im Lichtbogenbereich in einer endothermen Reaktion dissoziiert, und dadurch auf ein höheres energetisches Niveau angehoben wird. Außerhalb des Lichtbogens rekombinieren die Atome in der kühleren Schutzgasglocke in einer exothermen Reaktion, wobei die zuvor aufgewendete Energie wieder freigesetzt wird. Dadurch wird der Wärmeeintrag in die Schweißnaht zusätzlich intensiviert. Da Wasserstoff jedoch Probleme wie Wasserstoffrisse, -versprödung, -krankheit oder Poren bewirken kann, wird er generell nur auf Wasserstoff unempfindlichen Materialien, austenitischem nichtrostendem Stahl und Nickel-Basis-Werkstoffen eingesetzt.

Das Gas mit der zweithöchsten Wärmeleitfähigkeit ist Helium (siehe Diagramm 1), und da es ein inertes Gas ist, kann es auf allen Materialien eingesetzt werden.

Wird Wasserstoff oder Helium in das Schutzgas eingemischt, resultiert daraus immer eine Verbesserung der Produktivität oder der Qualität des Schweißprozesses. Dabei ist der Effekt von Wasserstoff deutlich größer als der von Helium. Besonders beim WIG-Schweißen, wo die Gaseauswahl sehr eingeschränkt ist, zeigen diese beiden Komponenten eine starke Wirkung. Im dargestellten Beispiel erhöht die Beimischung von Wasserstoff die Schweißgeschwindigkeit und reduziert die Anlauffarben (siehe Bild 2).

Anders als bei diesem WIG-Beispiel sind geringe Beimischungen aktiver Komponenten beim MAG-Schweißen von hochlegierten nichtrostenden Stählen oder Nickel-Basis-Materialien erlaubt. Während He und H_2 für bessere Benetzung und höhere Schweißgeschwindigkeiten sorgen, stabilisieren geringste CO_2 -Beimischungen den Lichtbogen (siehe Bild 3).

Allgemein kann N_2 eine metallurgische Funktion übernehmen, indem durch Zugabe von N_2 das Verhältnis zwischen Austenit und Ferrit in austenitischen und Duplex-Stählen beeinflusst wird. Dies wird insbesondere beim WIG-Schweißen genutzt.

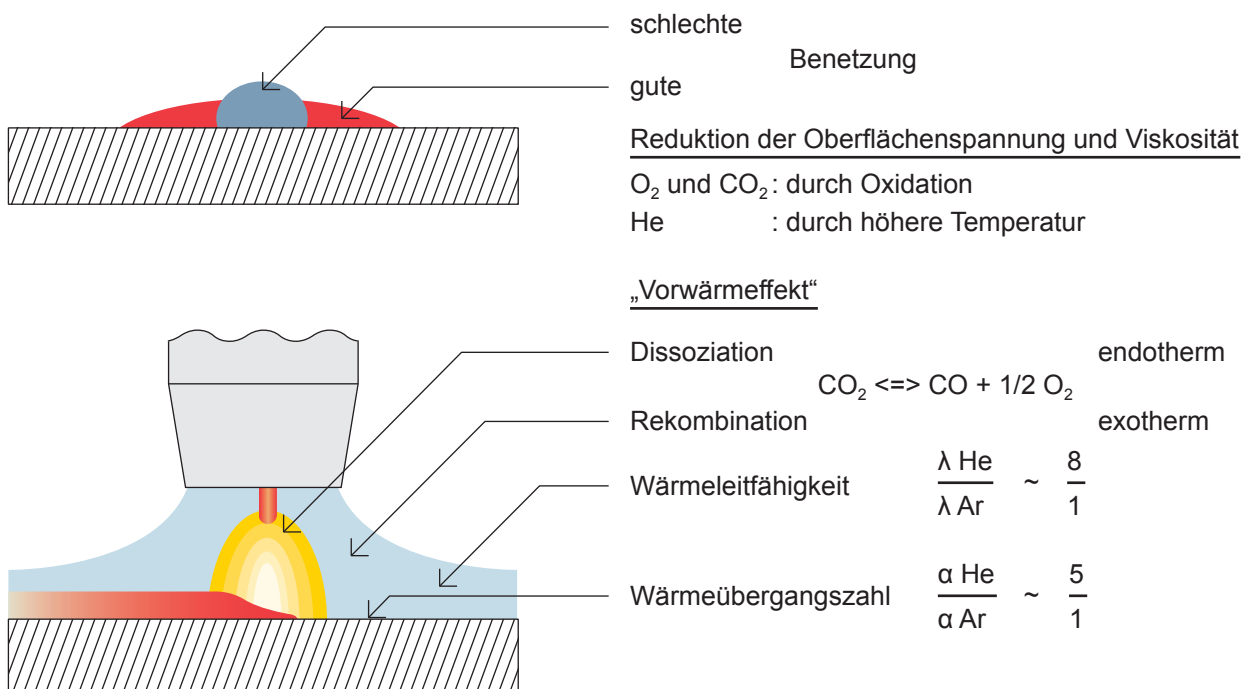


Bild 1: Einfluss der Schutzgas-Komponenten auf das Benetzungsverhalten.

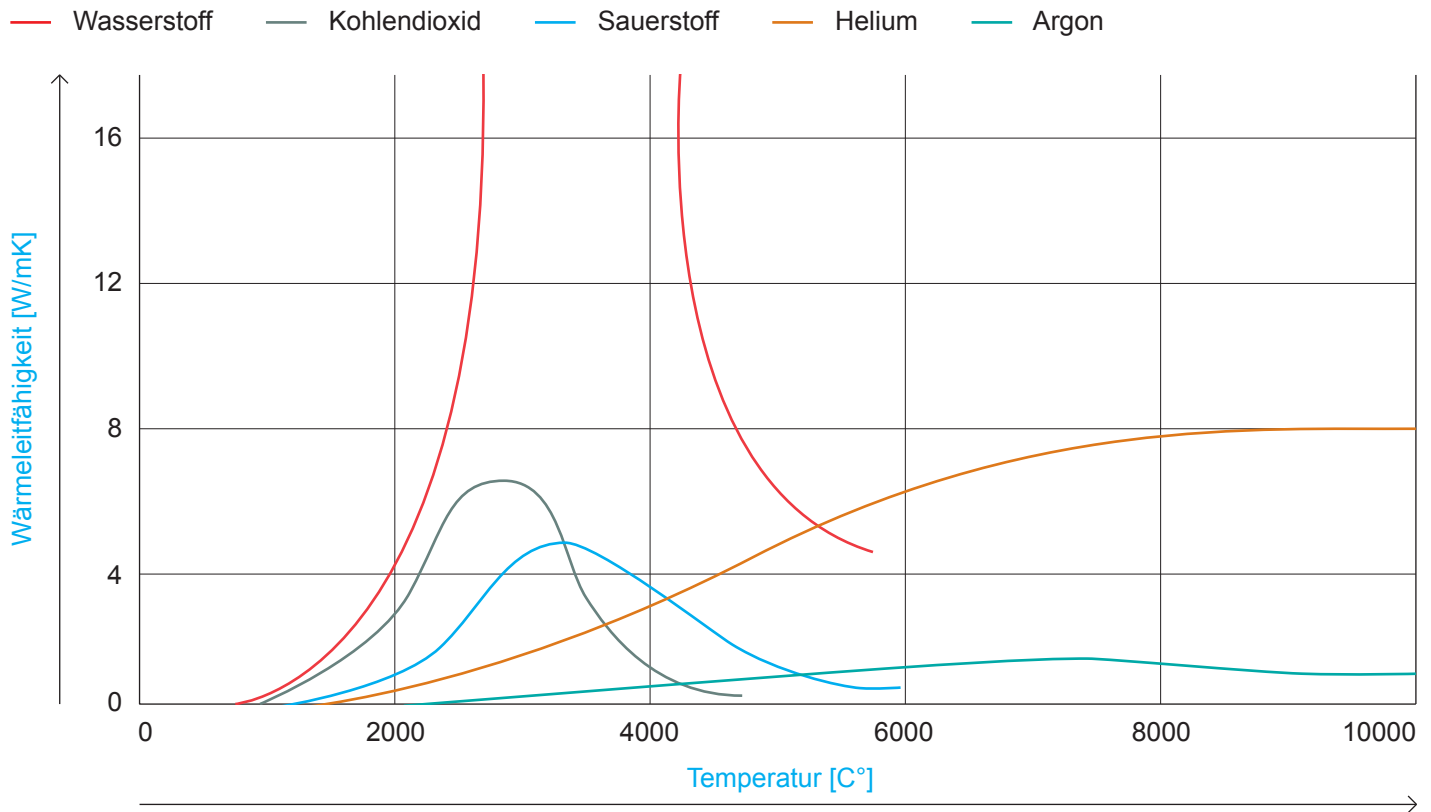


Diagramm 1: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Gase.

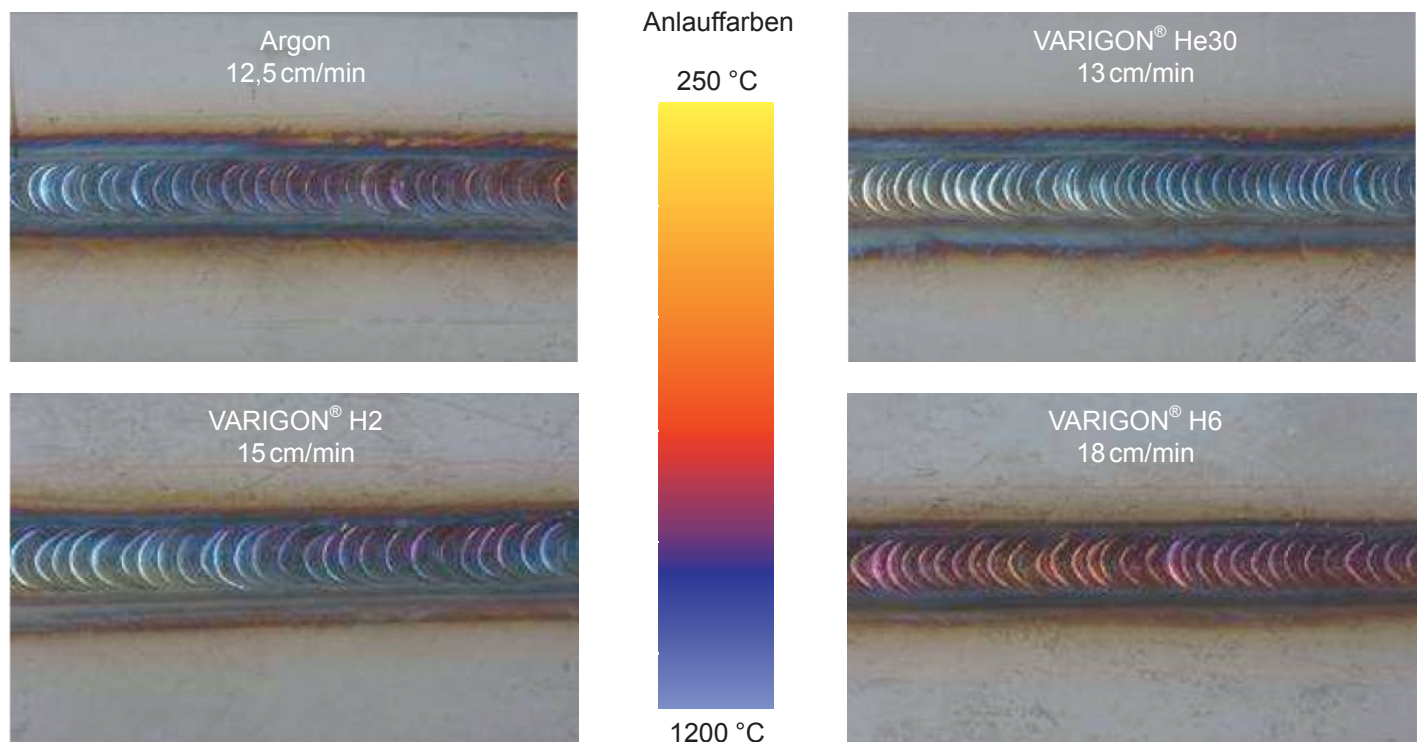
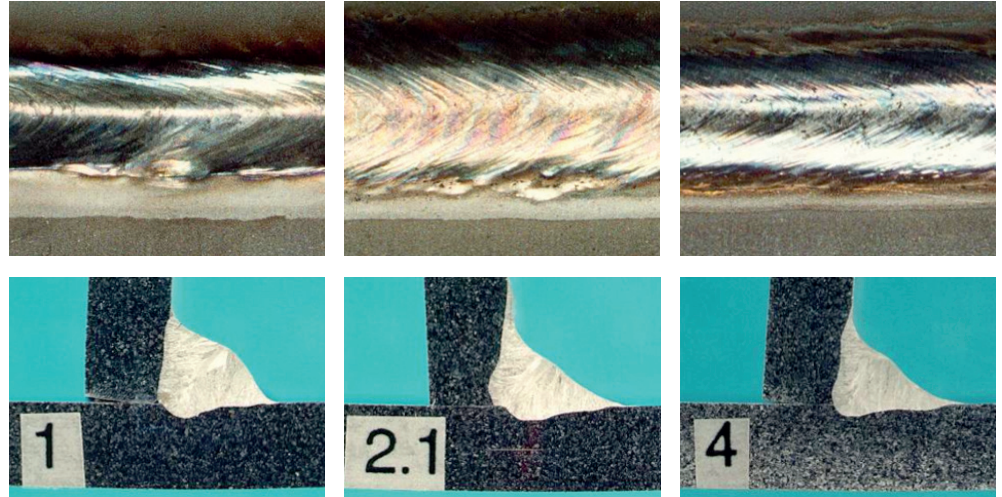


Bild 2: Kehlnaht WIG-Handschiweißung auf 4,0 mm 1.4301, ZSW 1.4316, Ø 2,0 mm. Deutlich höhere Schweißgeschwindigkeit und verbessertes Nahtbild durch Verwendung von VARIGON® H2 (ISO 14175-R1-ArH-2) oder VARIGON® H6 (ISO 14175-R1-ArH-6,5) anstelle von Argon (ISO 14175-I1) oder VARIGON® He30 (ISO 14175-I3-ArHe-30).

Grund- und Zusatzwerkstoff:
Nicrofer[®] 5923 (NiCr23Mo16Al)

Schweißprozess:
MAGp

Blechdicke:
5 mm



Schutzgas	Argon	VARIGON [®] He50 (Ar + 50 % He)	CRONIGON [®] Ni10 (Ar + 0,05 % CO ₂ + 30 % He + 2 % H ₂)
v _S	25 cm/min	35 cm/min	50 cm/min
v _D		5 m/min	

Bild 3: MAG-Kehlnaht. Deutliche Verbesserung von Schweißgeschwindigkeit, Einbrand und Nahtbild durch Einsatz von VARIGON[®] He50 (ISO 14175-I3-ArHe-50) oder CRONIGON[®] Ni10 (ISO 14175-Z-ArHeHC-30/2/0,055) statt Argon (ISO 14175-I1).

5. Stabilere Prozesse durch Dotierung mit Aktivgas

CRONIGON[®] Ni10 (ISO 14175-Z-ArHeHC-30/2/0,055) kann auch als Beispiel für die Stabilisierung des Schweißprozesses durch Dotierung eines Gases gesehen werden, wobei Dotierung bedeutet, dass die an Aktivgas zugegebene Menge im Bereich unter 0,1 % liegt. Weitere Beispiele sind das WIG- und MIG-Schweißen von Aluminium, wobei eine O₂-Dotierung mit 300 bis 500 ppm in Argon (VARIGON[®] S; ISO 14175-Z-ArO-0,031) den Schweißprozess stabilisiert (siehe Bilder 4 und 5).

In Verbindung mit Helium (siehe Kapitel 4) kann so ein hoch produktiver und stabiler Prozess erreicht werden, indem die dotierten Argon/Helium-Gemische der VARIGON[®]-HeS-Reihe verwendet werden.

Im MIG-Beispiel verkleinert sich durch die Verwendung von VARIGON[®] S (ISO 14175-Z-ArO-0,031) anstatt Argon (ISO 14175-I1) der Lichtbogenbrennfleck um etwa 35 % in dem entfetteten und um etwa 45 % in dem beschliffenen Bereich. Dadurch steigt die Stromdichte entsprechend an, was den Prozess stabilisiert. Dies ist erkennbar an der gleichmäßigeren und feineren Nahtschuppung und dem gleichmäßigeren Nahtübergang der rechten Naht.

Beste Ergebnisse werden mit etwa 500 ppm O₂-Dotierung erzielt. Beim WIG-Schweißen empfiehlt sich die Reduktion der Dotierung auf 300 ppm O₂, da diese Dotierung keinen nennenswerten negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Wolframelektrode hat.



Bild 4: Mechanisierte WIG-AC-Blindraupe auf beschliffener Aluminiumoberfläche.
Schutzgase: Links Argon (ISO 14175-I1), rechts VARIGON[®] S (ISO 14175-Z-ArO-0,031).

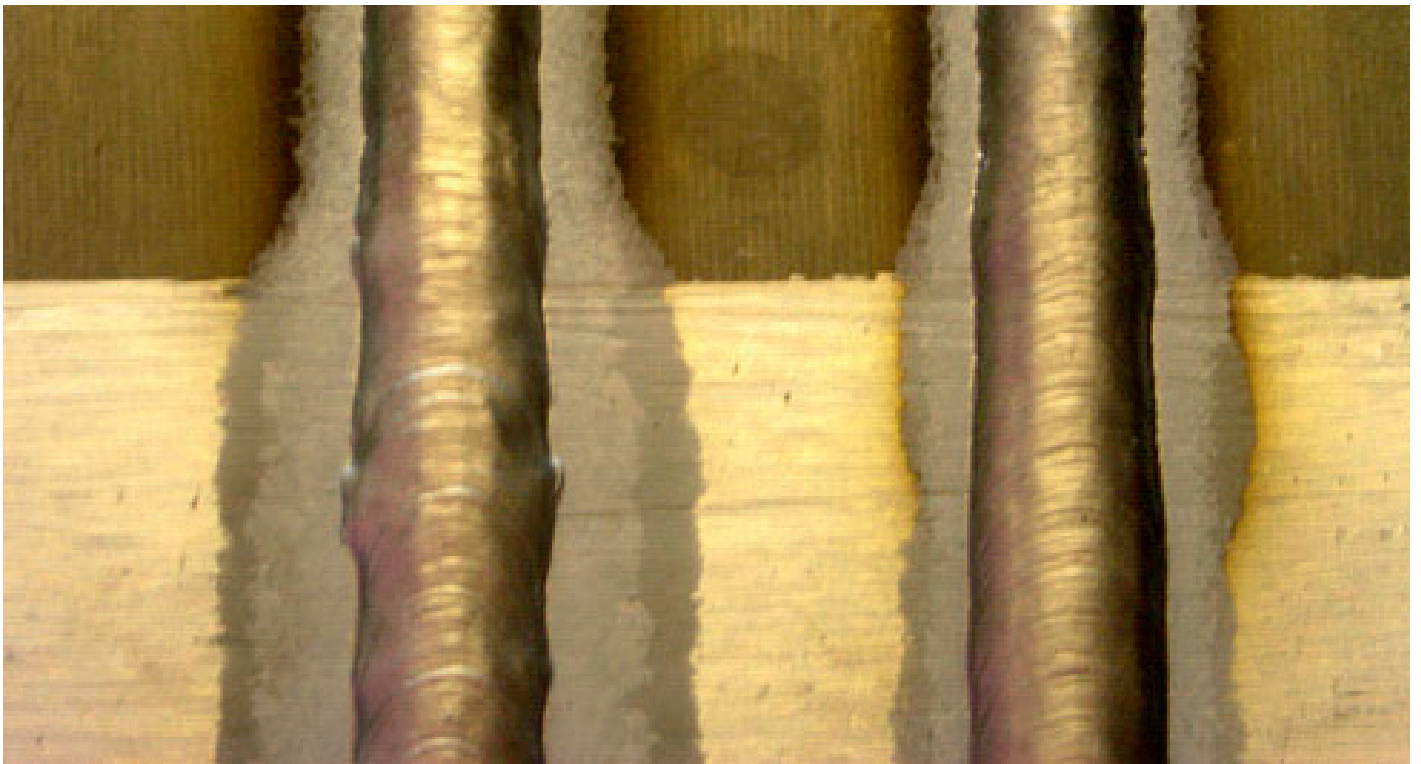


Bild 5: Mechanisierte MIG-Impuls-Blindraupe auf entfetteter (dunkler) und beschliffener (glänzender) Aluminiumoberfläche. Schutzgase: Links Argon (ISO 14175-I1), rechts VARIGON[®] S (ISO 14175-Z-ArO-0,031). Grundwerkstoff: EN AW-6082 (AlSi1MgMn).

6. Ein entscheidender Punkt beim Schweißen mit dem Diodenlaser

Untersuchungen beim Laserschweißen zeigten ganz klar, dass das Schweißen an Luft die dynamischen Eigenschaften der Schweißnaht negativ beeinflusst (siehe Diagramm 2).

▼ Argon-Kammer I-Naht ◆ Luft I-Naht

Lastgrenzverhältnis: $R = 0,1$

Werkstoff: TRIP800

Fügeverfahren: Laserschweißen

$N_{\max} = 1 \times 10^7$

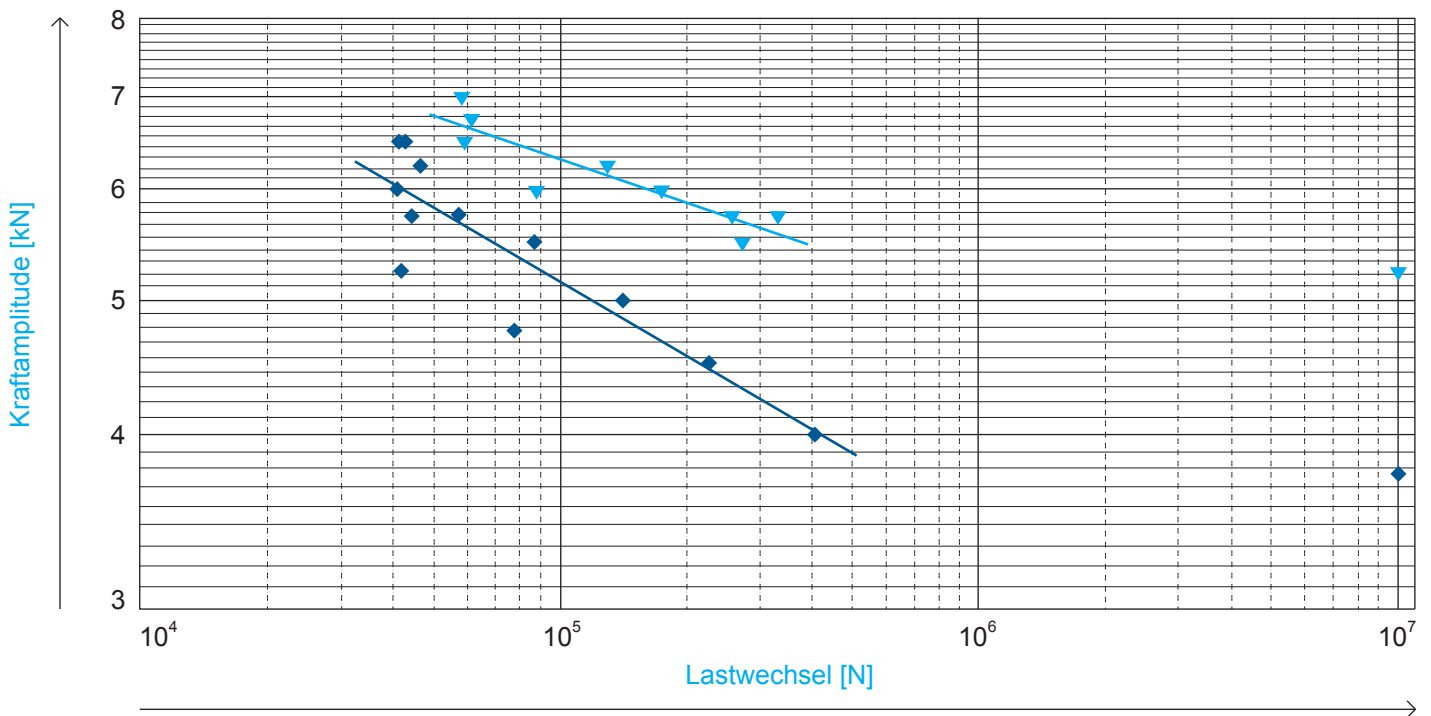


Diagramm 2: Wöhler-Diagramm für Laserschweißungen. Verbesserung der dynamischen Eigenschaften der Schweißnaht durch Verwendung von Argon als Schutzgas.

Beim Schweißen mit dem Diodenlaser muss zusätzlich beachtet werden, dass an nichtrostendem Stahl keine Durchschweißung bei Verwendung von inertem Schutzgas erreicht werden kann, auch nicht mit reinem Helium (siehe Bild 6, links). Wird ein nichtrostender Stahl unter inertem Schutzgas mit dem Diodenlaser geschweißt, kann beobachtet werden, dass das Schmelzbad von innen nach außen rotiert, was einen flachen und breiten Einbrand zur Folge hat. Benutzt man ein Schutzgas mit aktiven Komponenten (LASGON®) kann der sog. „Marangoni-Effekt“ [1] ausgelöst werden, die Umkehr der Rotationsrichtung des Schmelzbades. Fließt das flüssige Metall nun von außen nach innen, führt dies zu einem schmaleren und tieferen Einbrand (siehe Bild 6, rechts).

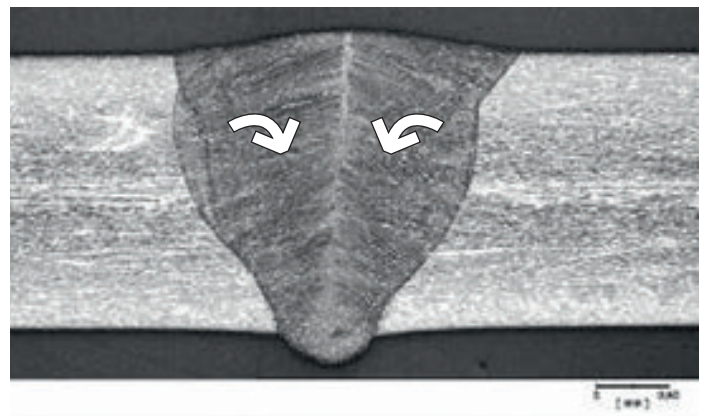
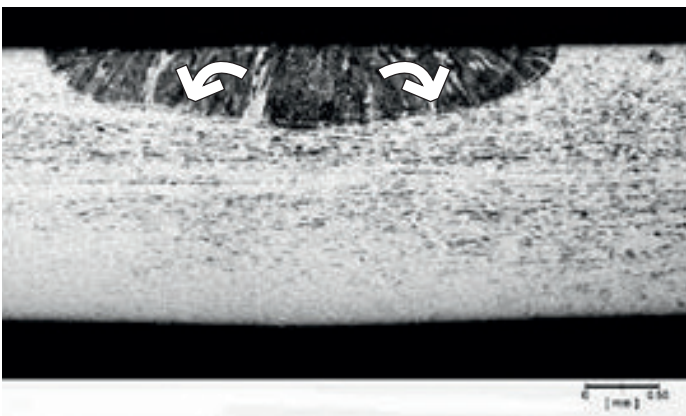


Bild 6: GW: 1.4541, 2,0mm, 3000W Diodenlaser, $v_s = 1,0$ m/min. Links: Schutzgas Helium, Schmelzbad fließt an der Oberfläche nach außen. Rechts: Schutzgas (LASGON®), Schmelzbad fließt an der Oberfläche nach innen.

7. Schweißkosten

Die verarbeitende Industrie steht in einem starken Wettbewerb. Kunden erwarten Produkte mit spezifischen Eigenschaften zu einem vorgegebenen Preis. Um den Vorzug vor einem Wettbewerber zu erhalten, müssen alle eingebundenen Abteilungen möglichst kostengünstig arbeiten. Dies kann erreicht werden, indem die Kostenfaktoren reduziert werden (Gehälter, Produktionsmittel) oder durch Steigerung der Produktivität.

■ Arbeitskosten ■ Zusatzwerkstoff ■ Schutzgas ■ Energie ■ Maschinen

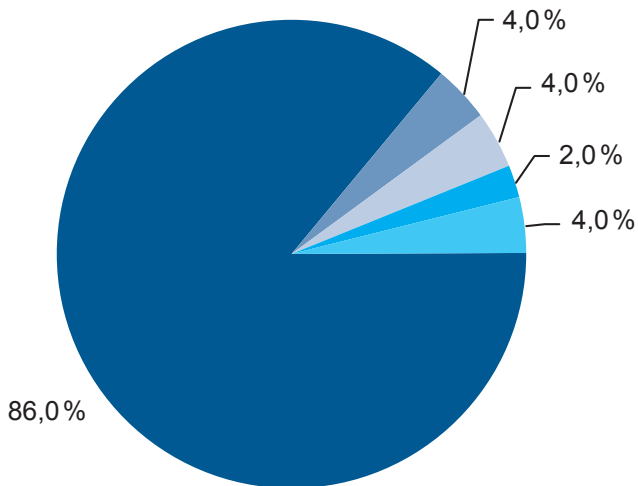


Diagramm 3: Näherungsweise Kostenbetrachtung für Deutschland. Beispielhaft für Kosten pro Meter Schweißnaht beim manuellen MAG-Schweißen.

In den industrialisierten Ländern, als Beispiel Deutschland, sind die Arbeitskosten die größten Kostenfaktoren. Abhängig vom Mechanisierungsgrad können die Arbeitskosten bis zu 90 % der Kosten pro Meter Schweißnaht ausmachen (siehe Diagramme 3 und 4).

■ Arbeitskosten ■ Zusatzwerkstoff ■ Schutzgas ■ Energie ■ Maschinen ■ Gesamtkosten

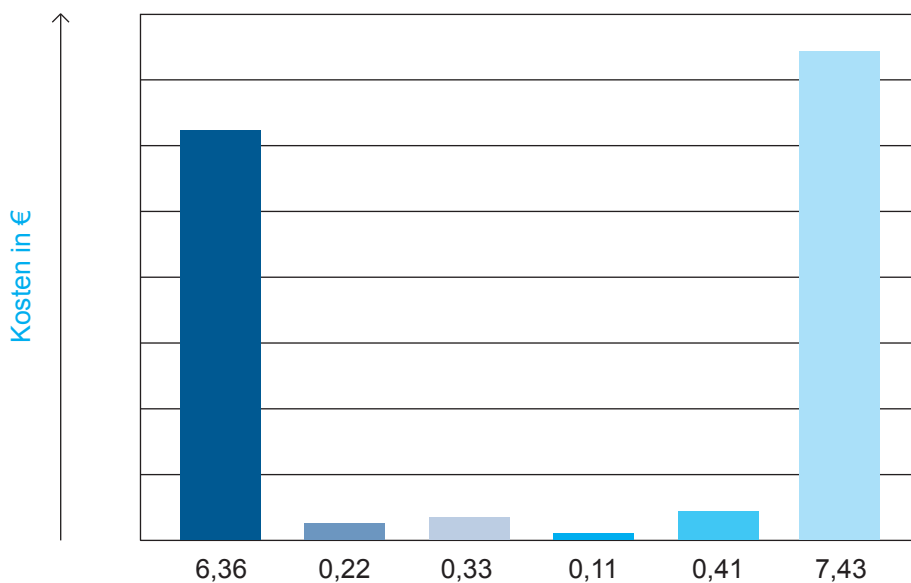


Diagramm 4: Beispielrechnung MAG Hand, 5 mm Blech, Y-Naht, 2 Lagen. Kosten pro Meter Schweißnaht, Schutzgas CORGON® 18 (ISO 14175-M21-ArC-18).

Um die Gesamtkosten zu reduzieren, ist es sinnvoll zu prüfen, ob eine Investition in einen der kleinen Kostenfaktoren (in diesem Fall das Schutzgas) die Produktivität erhöhen kann. Durch z. B. weniger Oberflächenoxidation und weniger Spritzerauswurf aufgrund eines anderen Gases wird es möglich, die Nebenzeiten für das Entfernen von Silikaten und Schweißspritzern zu reduzieren. Im betrachteten Beispiel erfolgt ein Wechsel von CORGON® 18 (ISO 14175-M21-ArC-18; 18 % CO₂ + Argon) zu CORGON® 10 (ISO 14175-M20-ArC-10; 10 % CO₂ + Argon), wobei die Gaskosten gleich bleiben, jedoch die durchschnittlichen Nebenzeiten pro Bauteil von sechs auf fünf Minuten reduziert werden. Dadurch ergibt sich eine Ersparnis von 0,62€, das entspricht über 8 % (siehe Diagramm 5).

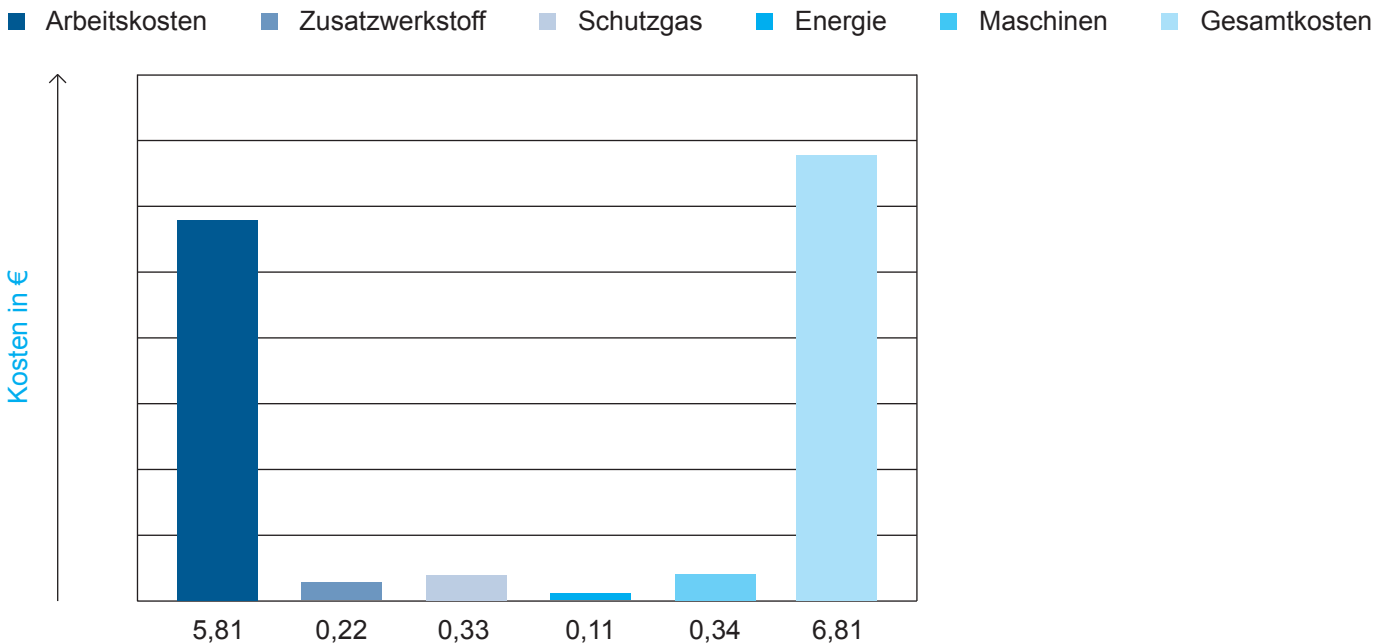


Diagramm 5: Beispielrechnung MAG Hand, 5 mm Blech, Y-Naht, 2 Lagen. Kosten pro Meter Schweißnaht, Schutzgas CORGON® 10 (ISO 14175-M20-ArC-10).

Auch der Einsatz eines heliumhaltigen Schutzgases M20 kann sich auszahlen. Oft wird dieser Gedanke von vornherein abgelehnt, weil die Kosten für heliumhaltige Mischgase deutlich höher sind als für Argon/CO₂-Gemische. Dennoch betrachten wir den hypothetischen Wechsel von CORGON® 10 (ISO 14175-M20-ArC-10) zu CORGON® 10He30 (ISO 14175-M20-ArHeC-30/10; 10 % CO₂ + 30 % He + Argon). Wenn z. B. Probleme mit Einbrandkerben, Spaltüberbrückung oder Flankenbindefehlern bestehen, können diese mit Heliumanteilen im Schutzgas reduziert werden. Dadurch vermindern sich z. B. die Nebenzeiten für Nacharbeit. Da heliumhaltige Schutzgase oftmals eine deutliche Steigerung der Schweißgeschwindigkeit ermöglichen, sind diese besonders für mechanisierte oder robotisierte Anwendungen interessant. Doch auch beim manuellen Schweißen können sich Vorteile ergeben. Im betrachteten Beispiel sind zwar keine signifikanten Steigerungen der Schweißgeschwindigkeit zu erzielen, doch selbst eine kleine Steigerung von unter 10 %, zusammen mit einer weiteren Reduzierung der Nebenzeiten um eine Minute, erbringt einen zusätzlichen Kostenvorteil von 0,54€ oder 7 % (Ersparnis im Vergleich zur Ausgangssituation somit 1,16€ oder 15 %) bei der realistischen Annahme einer Verdoppelung des Gaspreises (siehe Diagramm 6).

■ Arbeitskosten ■ Zusatzwerkstoff ■ Schutzgas ■ Energie ■ Maschinen ■ Gesamtkosten

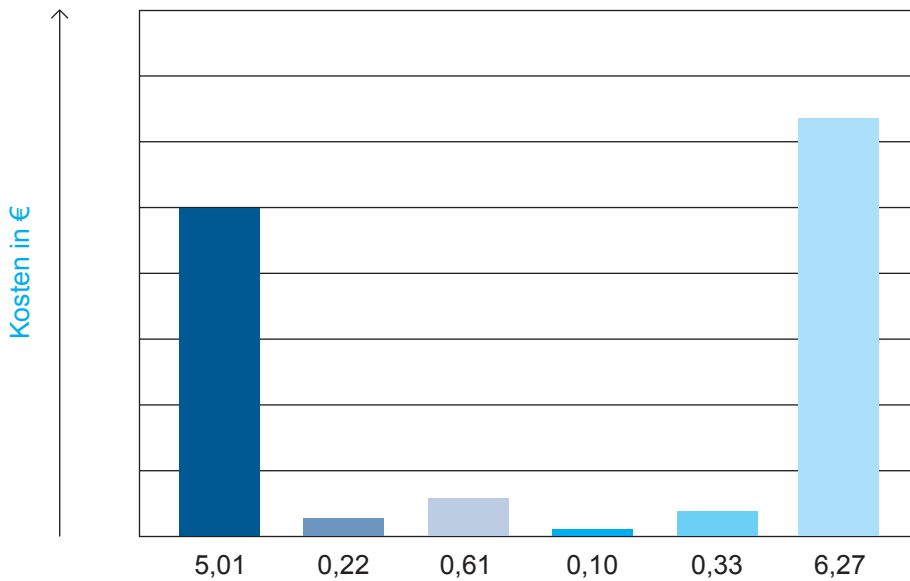


Diagramm 6: Beispielrechnung MAG Hand, 5 mm Blech, Y-Naht, 2 Lagen. Kosten pro Meter Schweißnaht, Schutzgas CORGON® 10He30 (ISO 14175-M20-ArHeC-30/10).

Gerade bei Mehrlagenschweißungen ist eine deutliche Reduzierung der Nebenzeiten durch den Wechsel des Schutzgases möglich. Durch einen geringeren aktiven Anteil im Schutzgas wird die Oberflächenoxidation der Naht vermindert. Bild 7 zeigt die Oberflächen zweier Schweißnähte, wobei links deutlich mehr Silikate auf der Naht zu sehen sind. Dies bedeutet, dass mehr Zeit zum Säubern der Oberfläche aufgewendet werden muss, bevor die nächste Lage geschweißt werden kann. Zusätzliche Kostenvorteile können sich über eine mögliche Steigerung der Schweißgeschwindigkeit ergeben.

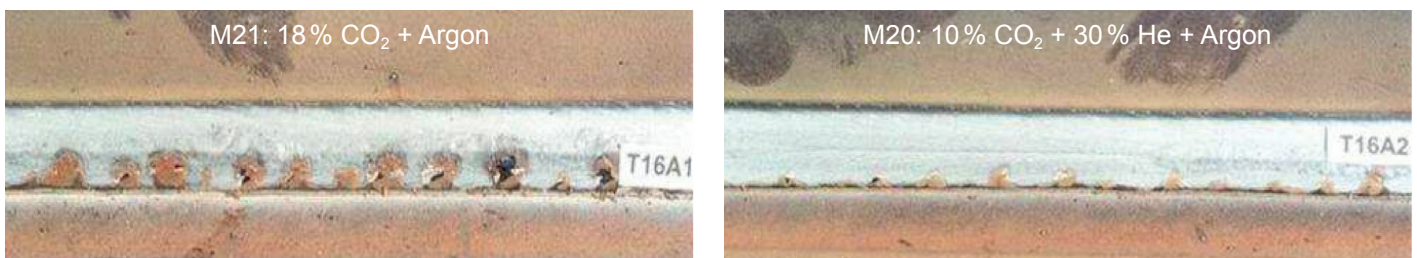


Bild 7: Reduzierte Oberflächenoxidation (rechts) durch einen Schutzgaswechsel von M21 (CORGON® 18; ISO 14175-M21-ArC-18) zu M20 (CORGON® 10He30; ISO 14175-M20-ArHeC-30/10). Identische Schweißgeschwindigkeit bei beiden Nähten. Prozess: Tandem, Puls-Puls, alternierend.

8. Zusammenfassung

Die Vorteile einer durchdachten Schutzgasauswahl gehen noch sehr viel weiter als in diesen Beispielen aufgezeigt. Auch bei anderen Prozessen sind durch den Wechsel des Schutzgases Verbesserungen möglich. Aufgrund der zuvor ange-deuteten Möglichkeiten, den Schweißprozess zu beeinflussen, ist es sicherlich sinnvoll, über die Auswahl des Schutz-gases genau nachzudenken, denn genau wie eine gute Wahl den Prozess positiv beeinflusst, wird eine schlechte Wahl negative Folgen haben. Natürlich werden Standardlösungen, z. B. aus Datenblättern, weiterhin funktionieren. Doch im schärfer werdenden Wettbewerb der verarbeitenden Industrie muss nach durchdachten Lösungen für Schweißprobleme gesucht werden, die eine gute Qualität zu einem vernünftigen Preis ermöglichen. Man muss deshalb über den Tellerrand der Standardlösungen hinausschauen und spezielle Lösungen suchen. Diese umfassen auch das Schweißschutzgas, dessen spezifische Auswahl dem Schweißprozess Vorteile bringen wird. Und wenn man mit dem Schweißschutzgas nicht nur die Atmosphäre von der Schweißstelle abschirmt, sondern aktiv mit seinen positiven Eigenschaften den Schweißpro-zess und seine Ergebnisse verbessert, wird aus einem Hilfsstoff ein optimierendes Werkzeug.

9. Literaturnachweis

- [1] Weld shape comparison with iron oxide flux and Ar-O₂ shielding gas in gas tungsten arc welding
S.-P. Lu, H. Fujii, K. Nogi
Science and technology of welding and joining
2004, Vol. 9, No. 3, pages 272–276
- [2] Schutzgaskatalog – Innovation, Beratung, Anwendung
Linde Gas
- [3] Aktuelle Prozessvarianten des MAG-Hochleistungsschweißens
E. Miklos, Linde Gas
- [4] Wasserstoff im Schutzgas
S. Trube, Linde Gas
- [5] EP-0857533 / 0857534 Hochleistungsschweißen
- [6] EP 0544187 / 0639423 / 0639427 MAG-Schweißen von Nickel-Basis-Legierungen
- [7] ISO 14175:08

CORGON®, CRONIGON®, LASGON® und VARIGON® sind eingetragene Marken der Linde Group.
Nicrofer® ist eine eingetragene Marke der ThyssenKrupp VDM.