

Auswahl von Schutzgasen zum Schweißen von Stahlwerkstoffen

A Choice of Shielding Gases for Welding the Variety of Steel Grades

Dr.-Ing. Stefan Trube, Hoellriegelskreuth

Auswahl von Schutzgasen zum Schweißen von Stahlwerkstoffen

Dr.-Ing. Stefan Trube, Höllriegelskreuth

Seit der Entwicklung der Schutzgasschweißtechnologie zu Beginn der 40er und 50er Jahre wurden von den Gaseherstellern zahlreiche Gasgemische für unterschiedliche Werkstoffe und Prozeßvarianten des WIG- und MSG-Schweißens entwickelt. Um ein besseres Verständnis für die Entwicklung des Schutzgasschweißens zu bekommen, werden einleitend kurz die geschichtlichen Aspekte der Schweißprozesse und Schutzgase vorgestellt.

Das erste Patent zum WIG-Schweißen wurde 1942 dem amerikanischen Flugzeugingenieur Meredith zum Schweißen von Magnesium und dessen Legierungen unter Helium in den USA erteilt [1; 2]. Erst die Übernahme der Patentrechte durch Linde Air Products Company und eine entsprechende Weiterentwicklung des WIG-Prozesses führte Ende der 40er Jahre zu einem größeren industriellen Einsatz des WIG-Schweißens für Magnesium, Aluminium, Kupfer, Nickelbasis-Legierungen und hochlegierten Stählen [2; 3]. Zu diesem Zeitpunkt wurde bereits auch Argon als Schutzgas eingesetzt. In Europa wurde deshalb das WIG-Schweißen unter dem Begriff ARGONARC-Schweißen eingeführt, während es in den USA HELIARC-Schweißen hieß.

1950 wurde drei Amerikanern das Patent zum Metall-Schutzgasschweißen (MSG) erteilt [7; 8]. Sie schweißten Stahl und Aluminium unter dem Schutzgas Argon. Das S.I.G.M.A.-Schweißen (shielded inert gas metal arc) unter Argon als Schutzgas setzte sich sehr schnell für das Fügen von Aluminium und seine Legierungen durch. Es ist heute in Europa fast nur noch unter dem Begriff MIG-Schweißen bekannt. Jedoch konnte das Schweißergebnis beim Schweißen von unlegiertem Baustahl unter Argon-Schutzgas aufgrund deutlicher Lichtbogeninstabilitäten nicht überzeugen, Bild 1. Dieser Schwachpunkt des Prozesses wurde Anfang der 50er Jahre, durch eine 1 bis 5%ige Zumischung von Sauerstoff zum Argon, behoben. Mit der Erfindung der CP-Stromquelle 1958 durch Tuthill und Welsh wurden anwendungstechnische Nachteile der bis darin gebräuchlichen Stromquellen beseitigt. Im gleichen Jahr gab es das erste Patent für ein 3-Komponenten Schutzgas zum MAG-Schweißen (15% CO₂/5%O₂/80% Argon) [14].

Anfang 1950 war Argon aufgrund fehlender leistungsfähiger Luftzerleger noch sehr teuer, so daß CO₂ in den USA und der damaligen UdSSR für das MSG-Schweißen von Baustahl

Tabelle 1
Einteilung der Schutzgase für das Lichtbogenschweißen nach DIN EN 439.

Kurzbezeichnung ¹⁾		Komponenten in Volumen-Prozent					übliche Anwendung	Bemerkungen	
Gruppe	Kennzahl	oxidierend		inert		reduzierend			reaktions-träge
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1 2			Rest ²⁾ Rest ²⁾		> 0 ... 15 > 15 ... 35		WIG Plasmaschweißen Plasmaschneiden Wurzelschutz	reduzierend
I	1 2 3			100 Rest	100 > 0 ... 95			MIG, WIG Plasmaschweißen Wurzelschutz	inert
M1	1	> 0 ... 5		Rest ²⁾		> 0 ... 5		MAG	schwach oxidierend
	2	> 0 ... 5		Rest ²⁾					
	3		> 0 ... 3	Rest ²⁾					
	4	> 0 ... 5	> 0 ... 3	Rest ²⁾					
M2	1	> 5 ... 25		Rest ²⁾					
	2		> 3 ... 10	Rest ²⁾					
	3	> 0 ... 5	> 3 ... 10	Rest ²⁾					
	4	> 5 ... 25	> 0 ... 8	Rest ²⁾					
M3	1	> 25 ... 50		Rest ²⁾					
	2		> 10 ... 15	Rest ²⁾					
	3	> 5 ... 50	> 8 ... 15	Rest ²⁾					
C	1	100							stark oxidierend
	2	Rest	> 0 ... 30						
F	1						100	Plasmaschneiden Wurzelschutz	reaktionsträge reduzierend
	2					> 0 ... 50	Rest		

¹⁾ Wenn Komponenten zugemischt werden, die nicht in der Tabelle aufgeführt sind, so wird das Mischgas als Spezialgas und mit dem Buchstaben S bezeichnet.

²⁾ Argon kann bis zu 95% durch Helium ersetzt werden.

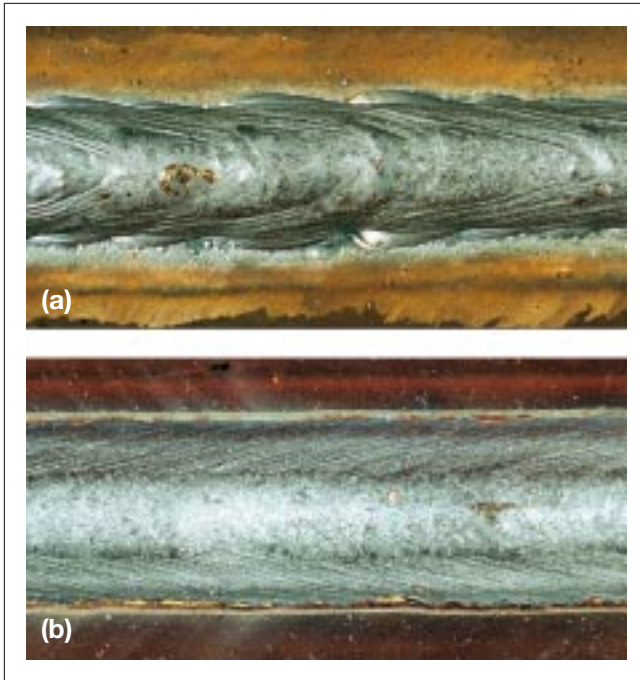


Bild 1
Vergleich der Nahtoberflächen beim MSG-Schweißen von unlegiertem Stahl mit Argon (a) beziehungsweise Ar/5% O₂-Mischgas (b) im Sprühlichtbogen; die Schweißparameter sind bei beiden Schweißungen identisch, die Schweißspannung ist jedoch dem Schutzgas angepaßt.

getestet wurde, mit dem Ergebnis, daß die Schweißnaht viele Poren aufwies [4; 5]. Erst die Entwicklung der Schutzgasdrahtelektroden mit desoxidierenden Elementen (Mn, Si) von Linde Air Products Company brachte 1954 den entscheidenden Schritt zum Durchbruch des MAGC-Schweißens [3; 4; 6].

In Europa wurde bis Anfang 1970 aus Kostengründen überwiegend mit reinem CO₂ geschweißt, bis die Vorteile der Ar/CO₂-Mischgase bei den Anwendern bekannt wurden. Die Markteinführung der Ar/CO₂-Mischgase dauerte, speziell in Deutschland, rund 2 Jahrzehnte. Selbst heute gibt es noch Anwendungen, bei denen bevorzugt CO₂ als Schutzgas zum Schweißen von Stahl eingesetzt wird.

Einen Überblick über die Technologie der Schweißschutzgase soll in den nachfolgenden Ausführungen gegeben werden, wobei aus Platzgründen nicht alle Schutzgasschweißprozesse, zum Beispiel das Plasmaschweißen, erläutert werden können. Berücksichtigung finden lediglich die Stahlwerkstoffe.

Schutzgase nach DIN EN 439

Seit 1994 ist DIN EN 439 gültig und ersetzt seit diesem Zeitpunkt DIN 32526 [9]. Die Bezeichnung der Schutzgase nach DIN EN 439 entsprechend ihrer Zusammensetzung ist in Tabelle 1 dargestellt, die Nomenklatur der Schutzgase soll aber an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, daß zum WIG- und MSG-Schweißen lediglich fünf Gaskomponenten zum Einsatz kommen, nämlich Argon, Helium, Kohlendioxid, Sauerstoff und Wasserstoff. Eine Ausnahme ist Stickstoff, der im Regelfall lediglich zum Formieren oder Plasmaschneiden eingesetzt wird, jedoch finden zur Zeit vermehrt stickstoffhaltige Gase zum Schutzgasschweißen von hochlegierten Stählen Verwendung.

Anforderungen an Schweißschutzgase

Die Anforderungen an Schweißschutzgase sind vielschichtig. Eine übersichtliche Aufstellung von Eigenschaften und Einflüssen der Gase wurde von Stenke in mehreren Veröffentlichungen vorgestellt [10; 11]. Diese Anforderungen gliedern sich in Anlehnung an die vorgenannten Veröffentlichungen wie folgt in:

- **allgemeine Anforderungen:**
 - Eignung des Gases für den ausgewählten Schweißprozess (MSG, WIG, WP),
 - Eignung des Gases für die Lichtbogenarten (MSG-Schweißen),
 - Schutz der Schmelze vor der Atmosphäre, zum Beispiel unabhängig von Position und Nahtgeometrie,
 - Unempfindlichkeit gegen äußere Einflüsse, beispielsweise Verunreinigung des Bleches,
 - Vermeidung von Schweißspritzern,
- **physikalische Anforderungen:**
 - Ionisationsenergie,
 - Zündverhalten bei Schweißbeginn,
 - Bildung eines Plasmastromes,
 - elektrische Leitfähigkeit des (Gas-)Plasmas,
 - Lichtbogenstabilität,
- **thermische Anforderungen:**
 - Wärmeübertragung sowohl im Plasma- als auch im nicht-ionisierten Zustand,
 - Wärmekapazität,
 - Wärmeleitfähigkeit,
- **metallurgische Einflüsse:**
 - Abbrand von Legierungselementen,
 - Zubrand von Kohlenstoff und/oder Sauerstoff und Stickstoff in die Schmelze,
 - keine (geringe) Löslichkeit der Gase in der Schmelze (metallurgische Porenbildung),
 - geringe Schlackenbildung,
 - geringe Oberflächenoxidation,
 - Erhalt der mechanisch-technologischen Gütewerte der Werkstoffe, zum Beispiel Zähigkeit,
 - Erhalt der Korrosionsbeständigkeit.

Die Liste der Anforderungen ist sicherlich nicht vollständig, die Komplexität der Ansprüche an Schweißschutzgase wird daraus jedoch schon ersichtlich. Die Erfüllung aller Anforderungen bei einer Schweißaufgabe ist in der Regel nicht möglich und endet häufig in einem technischen Kompromiß.

Eigenschaften der Schutzgaskomponenten

Stichpunktartig werden nachfolgend die wichtigsten physikalischen Eigenschaften der Schutzgaskomponenten vorgestellt. Diese Eigenschaften wirken sich entsprechend der Konzentration des Gases mehr oder minder stark auf den Schweißprozess aus.

- Ar:**
 - inertes Gas, das heißt keine Reaktion mit dem Werkstoff,
 - schwerer als Luft → Schutz der Schmelze vor Luftzutritt
 - leicht zu ionisieren → Zündung des Schweißprozesses wird erleichtert.
- He:**
 - inertes Gas, das heißt keine Reaktion mit dem Werkstoff,
 - leichter als Luft → gegenüber Ar höherer Volumenstrom zum Schutz der Schmelze erforderlich,
 - hohes Ionisationspotential → Lichtbogenzündung mit steigendem He-Anteil erschwert,

- hohes Ionisationspotential → höhere Schweißspannung erforderlich
- hohe Wärmeleitfähigkeit und Ionisationspotential → hoher Wärmeeintrag in Grundwerkstoff,
- hoher Wärmeeintrag → bessere Benetzung, breiterer Einbrand, flachere Naht, teilweise höhere Schweißgeschwindigkeit.

CO₂: – aktives Gas, das heißt Reaktion mit dem Werkstoff (Oxidation),

- Lichtbogenstabilisierung durch CO₂,
- schwerer als Luft → Schutz der Schmelze vor Luftzutritt,
- dissoziiert im Lichtbogen zu CO + O → Volumenanstieg → besserer Schutz der Schmelze,
- nach vollständiger Dissoziation oxidierende, in geringem Umfang aufkohlende Wirkung,
- hohes Ionisationspotential → Zündung erschwert, hoher Wärmetransport,
- Rekombination von CO + O zu CO₂ → extreme Wärmefreisetzung → sicherer (breiter) Einbrand,
- Rekombination und hohe Schweißspannung → höhere Schweißgeschwindigkeit,
- wichtigste Gas-/ Zumischkomponente zur Reduktion der Porenhäufigkeit im Schweißgut,
- mit steigendem CO₂-Gehalt → höhere Spritzerbildung, speziell im Langlichtbogen,
- oxidierende Wirkung → Schlackenbildung nimmt mit steigendem CO₂-Anteil zu.

O₂: – aktives Gas, stark oxidierende Wirkung (2- bis 3mal höher als CO₂),

- lichtbogenstabilisierende Wirkung,
- reduziert die Oberflächenspannung von Stahl → sehr spritzerarme, feinschuppige Nähte,
- geringe Oberflächenspannung bei Stahl → in Fallnaht vorlaufende Schmelze (Gefahr von Bindefehlern!),
- porenempfindliches Schutzgas,
- geringes Ionisationspotential → geringe Schweißspannung → geringer Wärmeeintrag.

H₂: – aktives Gas, reduzierende Wirkung,

- hohes Ionisationspotential und hohe Wärmeleitfähigkeit → sehr hoher Wärmeeintrag in Grundwerkstoff,
- Lichtbogen wird durch H₂ eingeschnürt → hohe Energiedichte des Lichtbogens,
- Wärmeeintrag und Lichtbogeneinschnürung → Steigerung der Schweißgeschwindigkeit,
- bei bestimmten Bedingungen Gefahr der Riß- und Porenbildung bei unlegierten Stählen,
- mit steigendem H₂-Anteil Gefahr der Porenbildung bei austenitischen Chrom-Nickel-Stählen.

N₂: – reaktionsträges Gas, das heißt Reaktion mit Metall nur bei hohen Temperaturen, bei geringen Temperaturen inertes Verhalten, das heißt keine Reaktion,

- ist Porenbildner bei Stahlwerkstoffen,
- führt zur Alterung (Versprödung), Problem speziell bei Feinkornbaustählen,
- Austenitbildner, unterdrückt teilweise die Ferritphase, zum Beispiel bei Vollausteniten.

Unterschiedliche Stahlwerkstoffe und die zu verwendenden Schutzgasgemische

● MAG-Schweißen von unlegiertem Stahl

Ar: Wie bereits in der Einleitung vorgestellt, brennt ein Schutzgaslichtbogen ohne O₂/CO₂-Schutzgasanteile instabil und unruhig, was zu einer erhöhten Porenanzahl und mangelhaftem Nahtaussehen führt. Aufgrund des fehlenden O₂/CO₂ ist die Stahlschmelze sehr zähflüssig, was zu einem sehr schlechten Nahtbild führt (Randkerben, Schuppung, Überwölbung).

Ar/O₂: Seit der Entwicklung des MAG-Schweißens sind Ar/O₂-Mischgase mit bis zu 5% O₂ bekannt. Jedoch wurde der insbesondere bei Fallnähten ungenügende Einbrand und die Porenempfindlichkeit dieses Gasgemisches bemängelt. Um die Porenempfindlichkeit zu reduzieren, wurden die O₂-Gehalte auf 8 bis 12% angehoben. Diese hoch sauerstoffhaltigen Gasgemische finden heute noch bei verschmutzten und verzünderten Stahlblechen Anwendung. Die nachteiligen Eigenschaften der sauerstoffhaltigen Gasgemische wie mangelhafter Einbrand in Fallnahtposition und Schlackenbildung verstärken sich aber gleichzeitig. Oberhalb 8% O₂ wird die Nahtoberfläche zunehmend rauher, die Oberfläche sieht „verbrannt“ aus.

Sehr gut bewährt haben sich sauerstoffhaltige Schutzgase (4 bis 5%) beim Schweißen dünner Bleche in Normalposition (PA oder PB), hier ist die wichtigste Anforderung die Spritzerarmut der Schweißung. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Spaltüberbrückbarkeit der Ar/O₂-Gemische.

CO₂: Besonders beim Schweißen im Kurzlichtbogen, also bei geringen Leistungen, kann die hohe Wärmeeinbringung des CO₂, zum Beispiel bei der Fallnahtschweißung, sehr gut in hohe Schweißgeschwindigkeiten umgesetzt werden. Dabei ist die Spritzerhäufigkeit nicht nennenswert höher als bei den Mischgasen. Erst bei höherem Drahtvorschub nimmt die Spritzerhäufigkeit zu.

Auch heute noch gibt es zahlreiche Anwendungsfälle bei denen auf CO₂ als Schutzgas nicht verzichtet werden kann, zum Beispiel wenn extrem porenarme Schweißgüter verlangt werden. Hohe Schlackenmengen und ein grobschuppiges Nahtaussehen müssen dabei jedoch gasebedingt in Kauf genommen werden.

Ar/CO₂: Das heute noch am weitesten gebräuchliche All-round-Mischgas aus 18% CO₂/ Rest Argon ist ein technischer Kompromiß zwischen den Vorteilen des reinen CO₂ und der geringen Spritzerbildung der Ar/O₂-Gemische. Da aber zur Zeit, speziell im Automobilbau, die Schlackenmengen auf den Nahtoberflächen reduziert werden sollen, ist ein allgemeiner Trend zu Mischgasen mit niedrigeren CO₂-Gehalten, zum Beispiel 6 bis 8% CO₂, festzustellen, wodurch gleichzeitig auch die Spritzerbildung reduziert wird.

Bei verrosteten, verzünderten oder verölten Blechen ist jedoch zur Verminderung der Porenbildung eine Erhöhung des CO₂-Anteiles auf 18 bis 25% vorteilhaft. Speziell bei Blechen, die mit Fertigungsbeschichtungen (Primer) versehen sind (Schiffbau), werden auch heute noch Schutzgase mit bis zu 40% CO₂ eingesetzt, teilweise sogar auch reines CO₂ in Kombination mit Massiv- oder Fülldrähten.

Ar/O₂/CO₂: Mit den 3-Komponenten-Schweißschutzgasen wurde der Versuch unternommen, die Spritzerarmut der Ar/O₂-Gemische mit der Porensicherheit, der hohen Schweißgeschwindigkeit und der Einbrandsicherheit des CO₂ zu kombinieren. Bei den 3-Komponenten-Mischgasen gibt es zwei Grundtypen:

Der erste Typ geht auf eine Entwicklung Ende der 50er Jahre zurück (15% CO₂/5% O₂/80% Ar). Heute geht der Trend zu Mischungen mit 10 bis 15% CO₂ und 3 bis 6% O₂, Rest Argon. Dieser Gastyp wird überwiegend an verzünderten, ver- öhten und dickwandigen Blechen eingesetzt.

Der zweite Typ der 3-Komponenten-Mischgase wird zum Schweißen sauberer Bleche eingesetzt und zeichnet sich durch geringste Spritzerbildung aus. Dieser Gastyp enthält 3 bis 6% CO₂ und 1 bis 4% O₂, Rest Argon. Aufgrund der geringeren aktiven Schutzgasanteile (CO₂, O₂) reduzieren sich auch die Schlackenmengen gegenüber dem oben genannten 3-Komponenten-Mischgastyp, die Porenempfindlichkeit steigt jedoch an.

Tabelle 2
Tendenzen bei Einsatz unterschiedlicher Schutzgase beim MAG-Schweißen unlegierter Stähle.

Auswirkung auf	Ar/CO ₂ (Standard: 18% CO ₂)	Ar/O ₂ (Standard: 8% O ₂)	CO ₂
Einbrand - Normalposition	gut	gut	gut
- Zwangslagen, z.B. Pos. PG oder PC	sicherer mit zunehmendem CO ₂ -Gehalt	kann kritisch werden wegen des Vorlaufens der dünnflüssigen Schmelze	am sichersten
Oxidationsgrad (Schlackenbildung)	steigend mit zunehmendem CO ₂ -Gehalt	hoch, z.B. bei 8% O ₂	hoch
Porosität	geringer mit steigendem CO ₂ Gehalt	am empfindlichsten	am sichersten
Spaltüberbrückbarkeit	besser werdend mit abnehmendem CO ₂ -Gehalt	am besten	schlechter als bei Mischgasen
Spritzerbildung	geringer mit abnehmendem CO ₂ -Gehalt	am geringsten	am höchsten
thermische Brennerbelastung	geringer werdend mit zunehmendem CO ₂ -Gehalt	am höchsten	am geringsten
Nahtbild	breiter und flacher; wenige, aber größere Schlacken-Inseln	bei hoher Schweißgeschwindigkeit schmale überwölbte, feinschuppige Naht; viel Schlacke auf der Naht	schmäler, überwölbter und grobschuppiger Schlacke fest haftend

Tabelle 3
Anwendungshinweise für unterschiedliche Schutzgastypen zum MAG-Schweißen unlegierter Stähle.

Kurzbezeichnung		Komponenten in Volumen-Prozent			geeignet für: Rohrstähle, Bau- und Feinkornbaustahle, Einsatz und Vergütungsstähle aller Art
Gruppe	Kennzahl	oxidierend		inert	
		CO ₂	O ₂	Ar	Anwendungshinweise
M1 ²⁾	2 3 4	> 0 ... 5	> 0 ... 3 > 0 ... 3	Rest ¹⁾ Rest ¹⁾ Rest ¹⁾	geringste Aktivkomponenten, geringe Schlacken und Spritzerbildung, für alle Lichtbogenarten, höhere thermische Brennerbelastung, empfindlich gegen Rost, Zunder und Verschmutzung (Poren), bevorzugt für blanke Dünnbleche
M2	1 2 3 4	> 5 ... 25	> 3 ... 10 > 3 ... 10 > 0 ... 8	Rest ¹⁾ Rest ¹⁾ Rest ¹⁾ Rest ¹⁾	erhöhte Aktivkomponenten, höhere Schlackenbildung, höhere Spritzerbildung (nicht M22), unempfindlicher gegen Rost, Zunder und Verschmutzung (nicht M22), hohe thermische Brennerbelastung bei M22, CO ₂ -Anteil für Impulslichtbogen kleiner 20 Vol.-%, Bindefehlergefahr bei M22 für Mittel- und Grobbleche
M3	1 2 3	> 25 ... 50	> 10 ... 15 > 8 ... 15	Rest ¹⁾ Rest ¹⁾ Rest ¹⁾	sehr hohe Aktivkomponentenanteile, große Schlackenbildung, hohe Spritzerbildung (nicht M32), unempfindlich gegen Rost, Zunder und Verschmutzung (nicht M32), hohe thermische Brennerbelastung bei M32, für Impulslichtbogen nur M32, Bindefehlergefahr bei M32 für Mittel- und Grobbleche
C	1 2	100 Rest	> 0 ... 30		höchste Aktivkomponenten, hohe Schlacken und Spritzerbildung, unempfindlich gegen Rost, Zunder und Verschmutzung, geringste thermische Brennerbelastung, nicht für Sprüh- und Impulslichtbogen anwendbar

¹⁾ Argon kann bis 95% durch Helium ersetzt werden.

²⁾ Schutzgas M11 auf Grund von H₂-Anteilen nicht geeignet.

Ar/He/O₂/CO₂: Für das MAG-Hochleistungsschweißen wurde ein 4-Komponenten-Schutzgas eingesetzt. Neben den bekannten Effekten von CO₂ und O₂ wird bei diesem Schutzgas durch He-Zumischungen das Benetzungsverhalten der Schweißnaht verbessert, das heißt, die Schweißnaht läuft durch He-Zumischungen breiter aus. Neueste Entwicklungen auf dem Sektor des MAG-Hochleistungsschweißens zeigen jedoch, daß der rotierende Lichtbogen durch Ar/He/O₂-Gemische stabilisiert werden kann, der Sprühlichtbogen dagegen durch Ar/He/CO₂-Gemische [12]. Dieses sehr komplexe Thema der Schutzgase für das MAG-Hochleistungsschweißen ist in [13] ausführlich erläutert.

Die für Baustähle wichtigen Schutzgastypen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 2 nochmals übersichtlich gegenübergestellt, die Eigenschaften der Schutzgasgemische gemäß DIN EN 439 sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

● WIG-Schweißen von Baustahl

Ar: Häufig eingesetztes Schutzgas beim WIG-Schweißen von Baustählen ist Argon. Die entstehende Schweißnaht ist bei Einhalten der prozeßtechnischen Grenzen feinschuppig, porenarm und weist geringste Ablagerungen von Schlacken auf der Nahtoberfläche auf. Aufgrund des schlechten Wärmetransportes und des geringen Ionisationspotentials von Argon sind die maximal erzielbaren Schweißgeschwindigkeiten, besonders bei Anwendung von Schweißzusatz, gering.

Ar/He: Diese Gemische weisen in der Regel 30 bis 50% Helium auf, wobei die He-Anteile eine Breitung der WIG-Naht bewirken und eine Steigerung der Schweißgeschwindigkeit gegenüber Argon ermöglichen.

Ar/H₂ (He): Obwohl Wasserstoff bei unlegierten Stählen zu den gefürchteten wasserstoffinduzierten Rissen führen kann, sind bei Schweißungen von dünnwandigen Blechen oft Ar/H₂-Gemische im Einsatz, zum Beispiel Rohrlängsnaht mit WIG-Mehrkatodenbrenner. Mit zunehmendem H₂-Gehalt des Schutzgases können die Schweißgeschwindigkeiten deutlich gesteigert werden. Der maximale H₂-Gehalt ist abhängig von der Schweißaufgabe, der Blechdicke, dem Werkstoff, der

Porenbildungsneigung, und sollte bei manueller Brennerführung nicht wesentlich über 5 % liegen. Ar/H₂-Gemische werden häufig nur beim vollmechanischen Schweißen zur Erzielung höherer Schweißgeschwindigkeiten eingesetzt, Anwendungen mit bis zu 30 % H₂ sind bekannt. Zusätzliche He-Zumischungen können die Schweißgeschwindigkeit weiter steigern.

● MIG-/MAG-Schweißen von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl

Ar: Gelegentlich wird Argon als Schutzgas eingesetzt, jedoch brennt auch hier der Lichtbogen ohne aktiven Schutzgasanteil sehr instabil, die Schmelze ist zähflüssig, die Schweißnaht läuft sehr unregelmäßig an den Grundwerkstoff an.

Ar/O₂ (He): Klassische Schutzgase enthalten zwischen 1 bis 3% O₂ zur Stabilisierung des Lichtbogens. Nachteilig ist der geringe Wärmeeintrag, der hohe Oxidationsgrad und die Porenempfindlichkeit durch Sauerstoff. Der geringe Wärmeeintrag kann durch He-Zumischungen kompensiert werden, die gleichzeitig das Benetzungsverhalten verbessern und die Schweißgeschwindigkeit erhöhen. Schutzgase mit O₂-Gehalten über 3% können ebenfalls eingesetzt werden, erhöhen aber die Oxidation der Nahtoberfläche. Diese Oxidbeläge sind nach dem Schweißen nur noch mechanisch zu entfernen, ein Entfernen durch Beizen ist nicht mehr möglich.

Ar/CO₂ (He): CO₂-haltige Schutzgase für hochlegierte Werkstoffe enthalten 0,05 bis 5% CO₂, um Lichtbogenstabilität, Porenanfälligkeit und Benetzungsverhalten beim Schweißen positiv zu beeinflussen. Steigende CO₂-Gehalte bewirken auch eine stärkere Oxidation der Nahtoberfläche. Sie fällt unter gleichen Schweißbedingungen aber geringer aus als bei Ar/O₂-Gemischen. Auch bei Ar/CO₂-Gemischen kann die Schweißgeschwindigkeit durch He-Zumischungen gesteigert werden. Im Lichtbogen wird das CO₂ in Kohlenstoff und Sauerstoff aufgespalten und ein kleiner Teil des Kohlenstoffs gelangt in die Chrom-Nickel-Stahlschmelze. Bei geringen CO₂-Gehalten

Tabelle 4
Anwendungshinweise für Schutzgase zum MAG-Schweißen von hochlegierten Stählen.

Kurzbezeichnung		Komponenten in Volumen-%				geeignet für: Chrom-Nickel-Stähle, Chrom-Stähle und sonstige legierte Stähle
Gruppe	Kennzahl	oxidierend		inert	reduzierend	Anwendungshinweise
		CO ₂	O ₂	Ar	H ₂	
M1	1	> 0 ... 5		Rest ¹⁾	> 0 ... 5	Mit steigenden Aktivkomponenten höhere Oxidation. Ausreichendes Benetzungsverhalten, das durch He-Anteile bis 50% deutlich verbessert wird. Gute Lichtbogenstabilität, geeignet für alle Lichtbogenarten. Reduzierte Aktivanteile um 0,05% erhöhen die Korrosionsbeständigkeit bei ausreichender Lichtbogenstabilität (Ni-Basis-Werkstoffe).
	2	> 0 ... 5		Rest ¹⁾		
	3		> 0 ... 3	Rest ¹⁾		
	4	> 0 ... 5	> 0 ... 3	Rest ¹⁾		
M2 ²⁾	2		> 3 ... 10	Rest ¹⁾		Durch den hohen O ₂ -Anteil sehr starke Schlackenbildung und Probleme der Schlackenentfernung. Alle Lichtbogenarten anwendbar.
	3	> 0 ... 5	> 3 ... 10	Rest ¹⁾		
M3 ³⁾	2		> 10 ... 15	Rest ¹⁾		Höchster Oxidationsgrad mit sehr starker Schlackenbildung, Gasart wird üblicherweise nicht angewendet, für alle Lichtbogenarten geeignet.

¹⁾ Argon kann bis zu 95% durch Helium ersetzt werden.

²⁾ M21 und M24 aufgrund sehr hohen CO₂-Anteils nicht für das MAG-Schweißen von hochlegierten Stählen zu empfehlen.

³⁾ M31 und M33 aufgrund sehr hohen CO₂-Anteils nicht für das MAG-Schweißen von hochlegierten Stählen zu empfehlen.

(< 5% im Schutzgas) ist die Aufkohlung so gering, daß die Entstehung interkristalliner Korrosion (IK) unter allen Bedingungen (Wärmebehandlungen) auszuschließen ist.

Ar/CO₂/H₂: Dieses Mischgas wird sehr selten eingesetzt, zeigt aber speziell beim Schweißen von hochlegierten Stählen im Kurzlichtbogen eine befriedigende Lichtbogenstabilität, bei gleichzeitig sehr gutem Einbrand und hoher Schweißgeschwindigkeit. Mit steigenden Lichtbogenleistungen (höherem Drahtvorschub) nimmt die Porenbildung im Schweißgut aber drastisch zu.

Die Anwendungsgebiete für das MAG-Schweißen der hochlegierten Werkstoffe sind nochmals in übersichtlicher Form, kombiniert mit der Gasbezeichnung nach DIN EN 439 in Tabelle 4 dargestellt.

● **WIG-Schweißen von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl**

Ar: Standardgas für alle WIG-Schweißungen an Chrom-Nickel-Stählen, mit den bereits beschriebenen Vor- und Nachteilen.

Ar/H₂ (He): Dieser Mischgastyp kann ohne Einschränkungen nur für austenitische Stähle empfohlen werden. Duplex-Stähle sollten aufgrund ihres hohen Ferritanteiles mit H₂-haltigen Schutzgasen nicht geschweißt werden. Zumischungen mit bis zu 30% H₂ in Argon steigern die Schweißgeschwindigkeit drastisch. He-Zumischungen zu Ar/H₂-Gemischen wirken ebenfalls geschwindigkeitssteigernd. Wird die Schweißgeschwindigkeit unter einem Ar/H₂-Gemisch nicht angehoben, sondern mit Schweißgeschwindigkeiten wie unter Argon geschweißt, so erhöht sich der Einbrand in Tiefe und Breite. Jedoch nimmt die Porengfährd oberhalb von etwa 5% H₂ bei einigen hochlegierten Werkstoffen zu, so daß vor Einsatz des Gasgemisches die Porenbildung anhand einer Versuchsschweißung überprüft werden sollte.

Beim manuellen WIG-Schweißen sollte bei Umstellung von Argon auf ein Ar/H₂-Gemisch der H₂-Gehalt schrittweise gesteigert werden, um den Schweißer an die steigenden Schweißgeschwindigkeiten zu gewöhnen. Bei H₂-Gehalten über 5 bis 6% ist aufgrund der erzielbaren hohen Schweißgeschwindigkeit nur eine vollmechanische Schweißung empfehlenswert. Einen Überblick über die Standard-Schweißschutzgase für das WIG-Schweißen von hochlegierten Stählen gibt Tabelle 5.

Tabelle 5
Anwendungshinweise für H₂-haltige Mischgase zum WIG-Schweißen von Chrom-Nickel-Stählen.

Kurzbezeichnung		Komponenten in Volumen-Prozent			geeignet für: Chrom-Nickel-Stähle und Nickel-Werkstoffe
Gruppe	Kennzahl	inert		reduzierend	Anwendungshinweise
		Ar	He	H ₂	
R	1 2	Rest ¹⁾ Rest ¹⁾		> 0 ... 15 > 0 ... 35	steigender H ₂ -Gehalt im Schutzgas erhöht den thermischen Wirkungsgrad des Lichtbogens, das heißt Einbrand und Schweißgeschwindigkeit, ab etwa 5% H ₂ bevorzugt für vollmechanisches Schweißen anzuwenden

¹⁾ Argon kann bis 95% durch Helium ersetzt werden.

Ar/N₂ (He, H₂): Dies ist eine neuere Entwicklung für Vollaustenite und Duplex- sowie Superduplex-Werkstoffe. Ein Teil des Stickstoffes aus dem Schutzgas wird in der Schmelze gelöst, und stabilisiert nach der Erstarrung in gelöstem Zustand die Austenitphase in der Schweißnaht. Stickstoffzumischungen zwischen 1 und 10% im Schutzgas können zum einen die Ferritanteile bei Vollausteniten drastisch reduzieren, das bedeutet eine Vermeidung des Korrosionsangriffs der Ferritphase (selektive Korrosion), zum anderen können die Stickstoffverluste bei Duplex- und Superduplex-Werkstoffen kompensiert und das Ferrit/ Austenit-Verhältnis durch N₂-Zumischungen kontrolliert werden. Die in Bild 2 vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß durch eine Zumischung von N₂ ins Schutzgas eine erhebliche Verminderung des Ferritgehaltes in der Schweißnaht erreicht werden kann. Ist der hochlegierte Werkstoff jedoch mit Hilfe von Titan stabilisiert worden, so reagiert der Stickstoff sofort mit dem Titan zu Titanitriden. Es liegt nach der Erstarrung kein gelöster Stickstoff im Gitter vor, so daß bei dem titanhaltigen Werkstoff (W.-Nr. 1.4541) keine Senkung des Ferritgehaltes über das Schutzgas möglich war. Zur Leistungssteigerung können bei Vollausteniten Wasserstoffanteile dem Schutzgas beigemischt sein, bei Duplex-Stählen werden He-Anteile aufgrund der H₂-Rißgefahr der Ferritphase bevorzugt. Eine beliebige Steigerung des N₂-Anteils im Schutzgas ist nicht möglich, da, abhängig von der Werkstoffzusammensetzung, zu hohe N₂-Konzentrationen zu Poren im Schweißgut führen können.

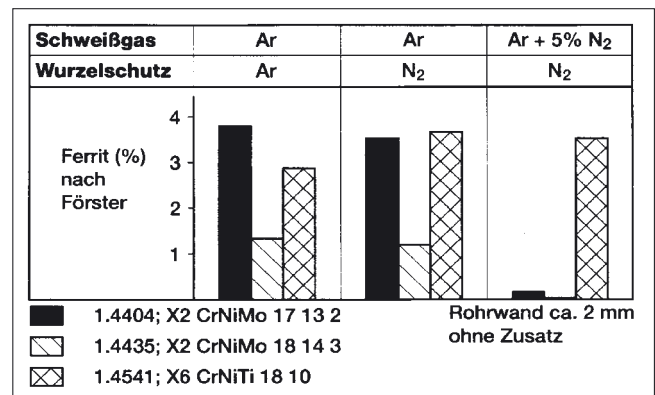


Bild 2
Ferritreduktion beziehungsweise -kontrolle durch N₂-Anteile im Schutzgas; Stickstoffhaltige Wurzelschutzgase (Formiergase) haben keine Auswirkung auf den Ferritgehalt im Schweißgut.

Schrifttum

- [1] N. N.: Gas Tungsten Arc Welding's Fortieth Anniversary. The Welding Journal 61 (1982), Nov. 1982, pp. 66/68.
- [2] Meredith, Russell: Relating to welding of magnesium and its alloys, and more particularly to a means whereby inflammable metals having a relatively low melting point may be efficiently welded by the electric arc. US-Patent No. 2.274.631, 1942.
- [3] N. N.: 75 Jahre Linde. Jubiläumsdruck der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen Aktiengesellschaft, 21.06.1954.
- [4] Hilton, Derrick E.: Gases for electric arc welding. Technology Magazine, No. 9 (1989), pp. 10/17.
- [5] Lyubavskii, K. V., and N. H. Novozhilov: Welding with consumable electrodes in an atmosphere of active protective gases. Welding and Metal Fabrication 22 (1954), No. 9, pp. 340/43.
- [6] Thomas, K. L., R. J. Wickham and G. M. Skinner: US-Patent 2.863.981, 1958.
- [7] Manz, A. F.: The Dawn of Gas Metal Arc Welding. Welding Journal 69 (1990), No. 1, pp. 67/68.
- [8] Muller, A., G. J. Gibson and N. E. Anderson: US-Patent 2.504.688, 1950.
- [9] DIN EN 439 (05.95): Schweißzusätze; Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und Schneiden. Beuth Verlag, Berlin.
- [10] Stenke, V.: Schutzgasauswahl - vom CO₂ zum T.I.M.E.-Gas. Filler Materials and other Consumables for Welding and allied Techniques, ISBN 953-96454-1-7, 10. - 13. Oktober 1996, Porec, S.101/16.
- [11] Stenke, V.: Neue Entwicklungen bei Schutz- und Formiergasen. Sonderdruck der Linde AG, Höllriegelskreuth.
- [12] Trube, S.: MAG-Hochleistungsschweißen. Der Praktiker 49 (1997), H.10, S. 480/ 85.
- [13] Trube, S.: MAG-Hochleistungsschweißen mit dem **LINFAST**®-Konzept. IIW-Doc. XII-1499-97 und Sonderdruck 36/97, Linde AG, Höllriegelskreuth.
- [14] Gesellschaft für Linde's Eismaschinen Aktiengesellschaft: Schutzgasgemisch zum Lichtbogenschweißen mit einer abschmelzenden Blankdrahtelektrode. Deutsches Patent 1 073 660 vom 28.10.1958.

A choice of Shielding Gases for Welding the Variety of Steel Grades

Dr.-Ing. Stefan Trube, Hoellriegelskreuth

Since the evolution of gas shielded arc welding in the early forties and fifties, the manufacturers of gases have developed numerous gas mixtures for a variety of materials, and process modifications of the processes TIG and MIG/MAG. For a better understanding of gas shielded arc welding, a brief introduction into welding history of process and shielding gas developments will be given.

In 1942, R. Meredith, an aircraft engineer, was granted the first TIG welding patent in the United States, concerning an invention "relating to welding of magnesium and its alloys" in a helium shield [1; 2]. Only after the assignment of patent rights to the Linde Air Products Company, and TIG process advancements in the late 40s, an increase in industrial use of TIG welding of magnesium, aluminium, copper, nickel alloys, and high alloy steels was initiated [2; 3]. At that time, argon, too, had already gained access as the shielding gas; and that's why the process had been introduced in Europe under the term ARGONARC (in the USA HELIARC), welding.

In 1950, three American engineers and inventors were issued a patent for gas metal arc welding (GMAW) [7; 8]. They welded steel and aluminium in argon shielding. S.I.G.M.A. (Shielded Inert Gas Metal Arc) welding in argon as the shielding gas quite rapidly succeeded in the field of joining aluminium and its alloys, today in Europe commonly known under the term MIG welding. The welding results with argon on plain carbon steels, however, had not been convincing due to distinct arc instabilities, figure 1. This drawback in those days, the early 50s, had been set off by adding 1 to 5 % oxygen to the argon gas. With the invention of a constant potential (CP) power source in 1958 by Tuthill and Welsh, disadvantages of the so far customary power sources in applications technology, had been eliminated. In the same year, the first patent covering a ternary gas mixture for MAG welding (15 % CO₂/ 5 % O₂/80 % Ar) had been issued [14].

In the early fifties, due to the lack of efficient air separation plants, argon had been a very expensive gas so that CO₂ had been tested in the United States and the USSR for MAG welding structural steel, with the result of extreme weld metal

Table 1
Classification of shielding gases for arc welding and cutting acc. to EN 439.

Symbol ¹		Components in percent volume					Typical applications	Remarks	
Gruppe	Identifikation No.	Oxidizing		Inert		Reducing			unreactive
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			Balance ²⁾		> 0 – 15		TIG Plasma arc welding Plasma arc cutting back shielding	reducing
	2			Balance ²⁾		> 15 – 35			
I	1			100				MIG, TIG Plasma arc welding back shielding	inert
	2			Balance	100				
	3								
M1	1	> 0 – 5		Balance ²⁾		> 0 – 5		MAG	slightly oxidizing
	2	> 0 – 5		Balance ²⁾					
	3		> 0 – 3	Balance ²⁾					
	4	> 0 – 5	> 0 – 3	Balance ²⁾					
M2	1	> 5 – 25		Balance ²⁾					
	2		> 3 – 10	Balance ²⁾					
	3	> 0 – 5	> 3 – 10	Balance ²⁾					
	4	> 5 – 25	> 0 – 8	Balance ²⁾					
M3	1	> 25 – 50		Balance ²⁾					more pronounced oxidation
	2		> 10 – 15	Balance ²⁾					
	3	> 5 – 50	> 8 – 15	Balance ²⁾					
C	1	100							
	2	Balance	> 0 – 30						
F	1						100	Plasma arc welding back shielding	unreactive reducing
	2					> 0 – 50	Balance		

¹⁾ Where components not listed are added to one of the groups in this table, the gas mixture is designated as a special gas mixture and carries the prefix S.

²⁾ Argon may be replaced by up to 95 % helium.

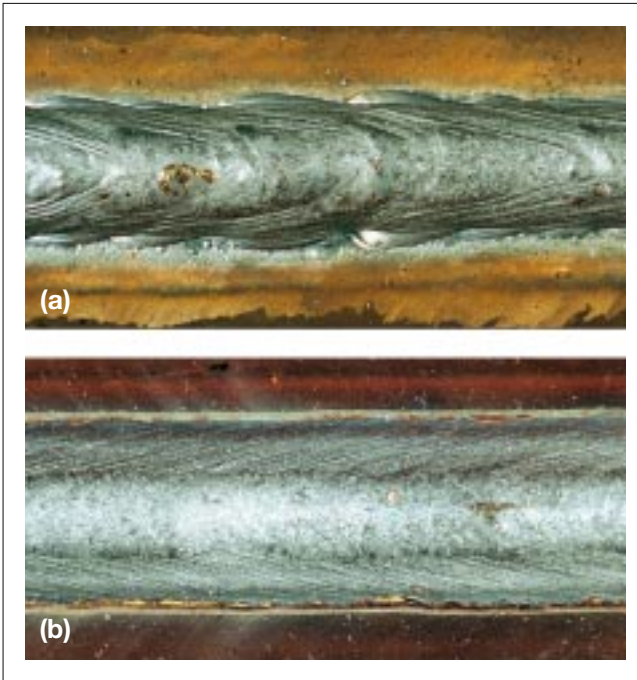


Fig. 1
Comparison of weld surfaces in MIG/MAG welding of unalloyed steel using argon (a) and Ar/O₂ gas mixture (b) in the spray arc. Welding parameters identical for both welds; voltage adapted to shielding gas requirements.
- Approx. 2 mm tube sheet -

porosity [4; 5]. Not until the development of wire electrodes containing deoxidizing elements (Mn, Si) by Linde Air Products Company, the decisive step towards the break-through of MAGC welding had been taken in 1954 [3; 4, 6].

Until the early seventies, for cost reasons pure carbon dioxide had been the predominantly used shielding gas in Europe; from then on, the benefits of argon-carbon dioxide mixtures gradually became better known to the users. Launching the Ar/CO₂ gas mixtures on the market, especially in Germany, took about two decades, and there are still applications where CO₂ is the preferred gas in steel welding.

An insight into shielding gas technology will be given in the following explanations, in which for space reasons not all shielding gas processes (e.g. plasma arc welding) can be commented on, and only ferrous metals will be considered.

Shielding Gases to EN 439

The European Standard EN 439 has been effective as from August 1994 and supersedes the German Standard DIN 32 526 [9]. The classification of gases according to their composition to EN 439 is represented in table 1, the shielding gas nomenclature, however, shall not be further discussed in this paper.

Table 1 makes evident that only five base gases are employed for TIG and MIG/MAG welding, and these are argon, helium, carbon dioxide, oxygen and hydrogen. The exception is nitrogen, which generally is only applied for backshielding and purging, and in plasma arc cutting; at present, however, nitrogen additions to the shielding gas are increasingly applied in high alloy steel welding.

Requirements to be met by shielding gases

The requirements are manifold. Stenke introduced an easily understandable schedule in several publications [10; 11]. The requirements can be grouped as follows.

1. General requirements

- suitability of gas for the selected process (MIG, MAG, TIG, PAW)
- suitability of gas for all arc types
- protection of the weld metal, regardless of position, weld geometry, etc.
- insensitivity to external effects, e.g. contamination of sheet/plate
- avoidance of spatter

2. Physical requirements

- arc starting characteristics, formation of a plasma stream
- electrical conductivity of the (gas) plasma
- arc stability

3. Thermal requirements

- heat transfer in the plasma state as well as in the nonionized state
- thermal capacity
- thermal conductivity

4. Metallurgical requirements

- alloying elements burnoff
- pickup of gas components into the weld metal
- no (low) solubility of gases in the weld metal (metallurgical porosity)
- increased solubility of gas in the base metal for a controlled alloying effect
- low slag formation
- low surface oxidation
- preservation of mechanical-technological properties of the material (e.g. toughness)
- maintenance of corrosion resistance.

The list of demands does not claim to be complete, however it shows the complexity of requirements to be met by shielding gases. To satisfy all requirements for a certain welding job will most likely not be possible - it will quite frequently end up in a technical compromise.

The properties of base gases

In the following, the most important physical properties of the base gases are outlined briefly. These properties have a stronger or inferior effect on the welding process, depending on the gas concentration.

Ar: – Inert gas, i.e. no reaction with the metal
 – heavier than air → protection of weld pool from ingress of air
 – easy to ionize → facilitates arc ignition

He: – Inert gas, i.e. no reaction with the metal
 – lighter than air → high volume rate of flow required to effectively shield the weld metal
 – high ionisation energy → arc ignition more difficult with increasing helium percentage
 – high ionisation energy → higher arc voltage required
 – high thermal conductivity and ionisation energy → high heat input into the base metal
 – high heat input → improved wetting, broader penetration geometry, less weld reinforcement, in some cases higher travel speed rates

- CO₂:** – Active gas, i.e. reaction with the metal (oxidizing effect)
- improved arc stability
 - heavier than air → protection of weld pool from air ingress
 - dissociates in the arc to CO + O → increase in volume → improved weld metal protection
 - high ionisation energy → complicates arc ignition, high heat transfer
 - recombination of CO + O to CO₂ → extreme heat release → sound (broad) penetration

- recombination and high voltage → increased travel speed
- most important gas/gas mixture component to reduce porosity in the weld metal
- with increasing CO₂ addition → increased spatter, particularly in long arc welding
- oxidizing effect → slag formation increases as the CO₂ percentage is increased.

Table 2
Tendencies when using varying shielding gases in MAG welding of unalloyed steel.

Effect on	Ar/CO ₂ (Standard - 18 % CO ₂)	Ar/O ₂ (Standard - 8 % O ₂)	CO ₂
Penetration -Normal position	good	good	good
- Out of position, e.g. pos. PG or PC	better as CO ₂ additions are increased	may be critical due to highly fluid weld puddle running away	most reliable
Degree of oxidation (slag formation)	increasing as CO ₂ additions are increased	high e.g. with 8 % O ₂	high
Porosity	decreasing as CO ₂ additions are increased	most critical	most resistant
Gap bridging	improves as CO ₂ percentage is decreased	most effective	inferior to gas mixture welds
Spattering	lower as CO ₂ additions are decreased	minimum	maximum
Thermal torch load	decreasing as CO ₂ additions are increased	maximum	minimum
Weld pattern	wider and rather flat; few but larger slag islands	with high travel speed rate narrow, reinforced, finely rippled weld a great deal of slag on the weld surface	narrower, more intensely reinforced, more coarsely rippled firmly adhering slag

Table 3
Application directives for various shielding gas types in MAG welding of unalloyed steel.

Symbol		Components in percent volume			Suitable for
Group	Identity No.	oxidizing		inert	tube steel, structural & fine grain steels, casehardening and heat-treatable steels of all kind
		CO ₂	O ₂	Ar	
M 1 ²⁾	2	> 0 - 5		Balance ¹⁾	Application directives lowest active components, low slag and spattering for all arc types, higher thermal torch load, sensitive to rust, scale and contamination (porosity), preferred for clean sheet metal.
	3		> 0 - 3	Balance ¹⁾	
	4	> 0 - 5	> 0 - 3	Balance ¹⁾	
M 2	1	> 5 - 25		Balance ¹⁾	higher active gas additions, more slag, increased spatter (not with M 22), less sensitive to rust, scale and contamination (not M 22), high thermal torch load with M 22, CO ₂ additions for pulsed arc welding below 20 vol. %, risk of lack of fusion with M 22 on medium and heavy plate.
	2		> 3 - 10	Balance ¹⁾	
	3	> 0 - 5	> 3 - 10	Balance ¹⁾	
	4	> 5 - 25	> 0 - 8	Balance ¹⁾	
M 3	1	> 25 - 50		Balance ¹⁾	very high active gas components, a great deal of slag, heavy spattering (not with M 32), insensitive to rust, scale and contamination (not M 32), high thermal torch load with M 32, for pulsed arc welding use M 32 only, risk of lack of fusion with M 32 for medium and heavy plate.
	2		> 10 - 15	Balance ¹⁾	
	3	> 5 - 50	> 8 - 15	Balance ¹⁾	
C	1	100			highest active gas component, heavy slag and spattering, insensitive to rust, scale and contamination, lowest thermal torch load, not applicable for spray and pulsed arc welding.
	2	Balance	> 0 - 30		

¹⁾ Argon may be replaced by up to 95 % helium.

²⁾ Shielding gas M 11 not suitable due to H₂ additions in the mixture.

- O₂:** – Active gas, strongly oxidizing action (two to three times that of CO₂)
 – arc stabilizing effect
 – reduces surface tension of steel → nearly spatterfree, finely rippled welds
 – low surface tension (steel) → in vertical-down welding molten metal running ahead (lack of fusion)
 – strong tendency to produce porosity
 – low ionisation energy → low voltage → low heat input.
- H₂:** – Active gas (reducing action)
 – high ionisation energy and high thermal conductivity → very high heat input into the base metal
 – arc is constricted through hydrogen → high arc energy density
 – heat input and arc constriction → increased travel speed
 – in certain conditions, risk of cracking and porosity in unalloyed (carbon) steels
 – increased tendency to porosity in austenitic CrNi steels with increasing hydrogen additions.
- N₂:** – Low-reactivity gas, i.e. reacts with metal at high temperatures, inert behaviour at low temperatures, i.e. unreactive
 – tends to produce porosity in steels
 – results in aging (embrittlement), a problem especially with fine grain structural steels
 – an austenite former, partly suppresses the ferrite phase e.g. in fully austenitic steel.

The various steel grades and the shielding gas mixtures used

● MAG/unalloyed (carbon) steel

Ar: As already outlined in the introduction, a gas metal arc shield without oxidizing constituent produces an unstable and unsteady arc resulting in increased porosity and poor weld appearance. The absence of O₂/CO₂ results in a very viscous molten pool, with very poor weld image (undercuts, coarse ripple, reinforcement).

Ar/O₂: Argon-oxygen gas mixtures containing 5 % O₂ have been known since the MAG process has been developed. However, especially in vertical-down welding, poor penetration, and the strong tendency to porosity of this mixture has been criticized. To reduce the risk of porosity, the oxygen additions were increased to 8 to 12 %. At the same time, however, the adverse features of oxygen-containing mixtures – insufficient penetration in vertical-down welding and formation of slag – are increased.

Argon plus 4 - 5 % oxygen mixtures have very well proven on thin sections in positions PA or PB, in cases where low spatter is the most important demand. Another benefit of Ar/O₂ mixtures is an improved gap bridging property.

CO₂: Particularly in short arc, i.e. low power welding, the high heat input obtained with CO₂, e.g. in vertical-down welding, may very well be turned into high travel speed rates. In these cases, spattering is not significantly higher than in gas mixture shielding. Spattering increases not before higher wire feed rates are employed.

Even nowadays, there are various applications where carbon dioxide shielding cannot be renounced, e.g. to obtain a nearly spatterfree weld metal. However, high slag levels, and coarsely rippled weld beads have to be put up with.

Ar/CO₂: The all-rounder in shielding gas mixtures still most widely used is argon plus 18 % CO₂. It is considered a good technical compromise between the benefits of pure CO₂ and

Table 4
Application directives for shielding gases used in MAG welding of high alloy steels.

Symbol		Components in percent volume				Suitable for CrNi steel, Cr steel grades, and other alloyed steels
Group	Identity No.	oxidizing		inert	reducing	Application directives
		CO ₂	O ₂	Ar	H ₂	
M 1	1	> 0 - 5		Balance ¹⁾	> 0 - 5	increasing oxidation as active gas additions are increased. Adequate wetting properties, can be significantly improved as helium is added in percentages up to 50 %. Good arc stability, suitable for all arc types. Low active gas additions around 0.05 % will increase corrosion resistance at sufficient arc stability (nickel base alloys).
	2	> 0 - 5		Balance ¹⁾		
	3		> 0 - 3	Balance ¹⁾		
	4	> 0 - 5	> 0 - 3	Balance ¹⁾		
M 2 ²⁾	2		> 3 - 10	Balance ¹⁾		high oxygen additions produce heavy slag and problems with slag removal; applicable for all arc types.
	3	> 0 - 5	> 3 - 10	Balance ¹⁾		
M 3 ³⁾	2		> 10 - 15	Balance ¹⁾		highest degree of oxidation along with a great amount of slag. Type of gas not commonly used. Suitable for all arc types.

¹⁾ Argon may be replaced by up to 95 % helium.

²⁾ M 21 and M 24 not recommended for MAG welding of high alloy steels due to the very high CO₂ percentages.

³⁾ M 31 and M 33 not recommended for MAG welding of high alloy steels due to the very high CO₂ percentages.

low-spatter in argon-oxygen mixtures. Due to the requirement of reduced amount of slag on weld surfaces, especially in the automotive industry, a general trend to gas mixtures with low CO₂ additions can be observed, whereby spattering is reduced, too.

For use on rusty, scaled and/or oily base material, an increase of the CO₂ percentage to 18 - 25 % will be of benefit to ensure low porosity. Especially for primed plates (shipbuilding), argon mixtures with up to 40 % CO₂, and even pure CO₂ in conjunction with solid or cored wire are employed to ensure low porosity welds.

Ar/O₂/CO₂: Ternary gas mixtures had been developed to try and combine low-spatter welding in Ar/O₂ shields with low porosity, high travel speed and adequate weld penetration in CO₂ shielding. There are two basic groups of ternary mixtures in use.

The first group originates in a development of the late fifties (15 % CO₂/5 % O₂/80 % Ar). The actual trend changes over to additions of 10 - 15 % CO₂ and 3 - 6 % O₂ to argon. This group of mixtures is mainly used on scaled and/or greasy surfaces, and on heavy sections.

The second group of argon-carbon dioxide-oxide mixtures is used on clean sheets and plates, and is typical of lowest spatter levels. These mixtures contain 3 - 6 % CO₂, 1 - 4 % O₂, and argon. Because of the lower active gas (CO₂, O₂) percentages, slag levels are also reduced compared to the formerly described group of mixtures.

Ar/He/O₂/CO₂: The quarternary gas mixture T.I.M.E. had been developed for high performance MAG welding. In addition to the known effects obtained with CO₂ and O₂, helium was added to the mixture to improve the wetting properties of the weld, i.e. helium additions help obtain a broad penetration profile.

However, latest advances in the field of high performance MAG welding have shown that the rotating arc movement can be stabilized by employing argon-helium-oxygen mixes, the spray arc by using argon-helium-carbon dioxide mixtures [12]. This complex subject of shielding gases for high performance MAG welding has been explained in detail in [13]. Shielding gas types and their important features in structural steel welding are once more clearly scheduled in table 2, the properties of shielding gas mixtures to EN 439 in table 3.

● TIG/structural (carbon) steel

Ar: Argon is a shielding gas very frequently used in TIG welding structural steels. When the technological limitations of the process are observed, the resulting weld will be finely rippled, exhibiting low porosity and minimum slag depositions on the weld surface. Due to poor heat transfer and the low ionization potential of argon, maximum travel speed rates are rather low, especially where cold wire is added.

Table 5
Application directives for gas mixtures containing H₂ used in TIG welding of CrNi steel.

Symbol		Components in percent volume			Suitable for CrNi steel and Ni base alloys
Group	Identity No.	inert		reducing	Application directives
		Ar	He	H ₂	
R	1	Balance ¹⁾		> 0 - 15	increasing H ₂ additions to the gas mixture increases arc efficiency, i.e. penetration profile and travel speed rate, mix with H ₂ over 5 % is preferred in fully mechanized (machine) welding.
	2	Balance ¹⁾		> 15 - 35	

¹⁾ Argon may be replaced by up to 95 % helium.

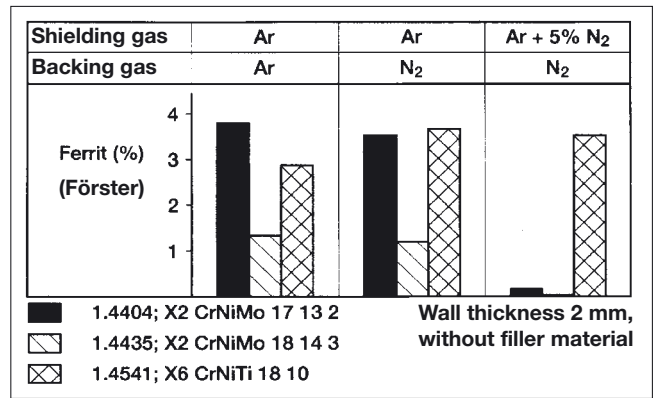


Fig. 2 - Ferrite reduction and control through N₂ added to the shielding gas. Nitrogen in the backshielding gas has no effect on the weld ferrite.

Ar/He: In these mixtures, 30 - 50 % helium is generally added. He additions lead to a broader weld contour and let obtain increased travel speed rates compared with pure argon.

Ar/H₂ (He): Although hydrogen is feared for the risk of producing hydrogen-induced cracking, such mixtures are quite commonly employed in sheet metal welding (e.g. for longitudinal tube welds using multi-cathode TIG torches). By increasing the hydrogen percentage in the mixture, travel speed rates can also be increased considerably. The maximum H₂ content that can be added varies with the welding job, material type, metal thickness, level of porosity, etc; commonly, it will not exceed 10 % significantly. Because of the high travel speed rates that can be achieved with argon-hydrogen mixtures, they will be employed mainly for fully mechanized welding operations.

● MIG/MAG/high alloy CrNi steel

Ar: Argon is used for some applications, but here again, poor arc stability is found in the absence of an active gas addition; weld pools are very viscous, and the weld-to-base metal joint pattern is very irregular.

Ar/O₂ (He): The classical mixture type contains 1 to 3 % oxygen for improved arc stabilization. However, adverse effects are low heat input, high degree of oxidation and the strong tendency for porosity to occur. The low heat input can be balanced by adding helium, which at the same time will improve wetting properties, and increase travel speed rates. Gas mixtures containing more than 3 % oxygen are also applicable, producing, however, heavy weld surface oxidation. Such oxidation coatings after welding can only be removed mechanically, pickling is not possible any more.

Ar/CO₂ (He): For high alloy stainless steels, gas mixtures containing CO₂ in percentages of from 0.05 to 5 % are used to improve arc stability and wetting properties, and to minimize porosity in the welds. Although increasing carbon dioxide additions also increase weld surface oxidation, this adverse effect is lower than in argon-oxygen mixtures provided the welding conditions are identical. With Ar/CO₂ mixtures, travel speed rates can also be increased by means of helium additions.

In the arc, part of the carbon dioxide in carbon and oxygen is decomposed, and a tiny part of carbon arrives in the CrNi weld metal. With low CO₂ percentages (< 5 % in the shielding gas), the carbon pickup in the weld metal is so low that the occurrence of intergranular corrosion (IGC) is by all means to be excluded (e.g. by heat treatment).

Ar/CO₂/H₂: This mixture is used very rarely; however in short arc welding of high alloy steels it shows satisfactory arc stability, and results in excellent penetration and high travel speed rates. Increasing arc power (higher wire feed speed), however, produces a drastic increase in porosity.

Fields of application of gases designated acc. to EN 439 for MAG welding of high alloy materials are once more displayed in table 4.

● TIG/high alloy CrNi steel

Ar: Argon is standard; it is the most extensively used gas for all TIG welding applications on chromium-nickel steels, with the already described disadvantages.

Ar/H₂ (He): Without particular restrictions, this gas mixture type can only be recommended for austenitic steels. Because of their high ferrite content, duplex steels should not be welded with gas mixtures containing hydrogen. Hydrogen additions to argon of up to 20 % will help increase travel speeds remarkably. If travel speed rates in Ar/H₂ mixtures are not raised, i.e. same parameters are used as in argon, penetration will increase in depth and width. However, as porosity will increase in some high alloy material with hydrogen percentages over 5 %, trial welds are highly recommended, prior to finally employing such gas mixtures, in order to verify any formation of porosity.

With manual torch guidance, and when changing from argon to an Ar/H₂ mixture, the H₂ percentage should be increased gradually for the welder to be able to get slowly accustomed to the increasing travel speed rates. For hydrogen percentages exceeding 10 %, due to the high travel speed rates obtainable, fully mechanized welding is recommended. A survey of standard shielding gases used for TIG welding of high alloy steels is given in table 5.

Ar/N₂/(He, H₂): Latest advancements for fully austenitic, duplex and super duplex steels. Part of the nitrogen from the gas mixture will be dissolved in the molten pool and, after solidification in the dissolved state, will stabilize the austenite phase in the weld to a high degree. Nitrogen additions of 1 to 10 % for one thing can drastically reduce the ferrite in fully austenitic steels (avoiding corrosion attacks of the ferrite phase), and for the other, nitrogen losses in duplex and super duplex materials can be set off, and the ferrite-to-austenite-ratio be controlled. The results presented in figure 2 show that by adding nitrogen to the gas mixture, a remarkable ferrite reduction in the weld can be ensured. However, if the high alloy material has been titanium-stabilized, nitrogen will immediately react with titanium to form titanium nitrides. After solidification, there will be no dissolved nitrogen left in the lattice, -

for the titanium-containing material 1.4541 there was no ferrite reduction possible by means of the shielding gas.

To increase performance on fully austenitic steels, hydrogen may be added to the gas mixture, for duplex steels, due to a high risk of hydrogen-induced cracking in the ferrite phase, helium additions will be preferred. Increasing the nitrogen content in the shielding gas to any extent desired is not possible; depending on the base metal composition, and excessive N₂ concentration will result in weld metal porosity.

Bibliography

- [1] N. N.: Gas Tungsten Arc Welding's Fortieth Anniversary. The Welding Journal 61 (1982), Nov. 1982, pp. 66/68.
- [2] Meredith, Russell: Relating to welding of magnesium and its alloys, and more particularly to a means whereby inflammable metals having a relatively low melting point may be efficiently welded by the electric arc. US-Patent No. 2.274.631, 1942.
- [3] N. N.: 75 Jahre Linde. Jubiläumsdruck der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen Aktiengesellschaft, 21.06.1954.
- [4] Hilton, Derrick E.: Gases for electric arc welding. Technology Magazine, No. 9 (1989), pp. 10/17.
- [5] Lyubavskii, K. V., and N. H. Novozhilov: Welding with consumable electrodes in an atmosphere of active protective gases. Welding and Metal Fabrication 22 (1954), No. 9, pp. 340/43.
- [6] Thomas, K. L., R. J. Wickham and G. M. Skinner: US-Patent 2.863.981, 1958.
- [7] Manz, A. F.: The Dawn of Gas Metal Arc Welding. Welding Journal 69 (1990), No. 1, pp. 67/68.
- [8] Muller, A., G. J. Gibson and N. E. Anderson: US-Patent 2.504.688, 1950.
- [9] DIN EN 439 (05.95): Schweißzusätze; Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und Schneiden. Beuth Verlag, Berlin.
- [10] Stenke, V.: Schutzgasauswahl - vom CO₂ zum T.I.M.E.-Gas. Filler Materials and other Consumables for Welding and allied Techniques, ISBN 953-96454-1-7, 10. - 13. Oktober 1996, Porec, S.101/16.
- [11] Stenke, V.: Neue Entwicklungen bei Schutz- und Formiergasen. Sonderdruck der Linde AG, Höllriegelskreuth.
- [12] Trube, S.: MAG-Hochleistungsschweißen. Der Praktiker 49 (1997), H.10, S. 480/ 85.
- [13] Trube, S.: MAG-Hochleistungsschweißen mit dem **LINFAST**[®]-Konzept. IIW-Doc. XII-1499-97 und Sonderdruck 36/97, Linde AG, Höllriegelskreuth.
- [14] Gesellschaft für Linde's Eismaschinen Aktiengesellschaft: Schutzgasgemisch zum Lichtbogenschweißen mit einer abschmelzenden Blankdrahtelektrode. Deutsches Patent 1 073 660 vom 28.10.1958.



Linde AG
Werksgruppe Technische Gase
Seitnerstraße 70
82049 Höllriegelskreuth
Tel.: (089) 74 46-0, Fax: (089) 74 46-1230
<http://www.linde.de/linde-gas>

8004/7 1099 - 1.4 ku