

***Neue Entwicklungen beim MSG  
(Metallschutzgas) -Schweißen von  
Ni-Werkstoffen***  
*Pulsed MAGM Welding of Nickel Alloy*

**Herbert Geipl, D-82049 Hoellriegelskreuth**





# Neue Entwicklungen beim MSG (Metallschutzgas)-Schweißen von Ni-Werkstoffen

Ing. Herbert Geipl, Höllriegelskreuth

## 1. Einleitung

In der Umwelttechnik, z.B. Entschwefelungsanlagen, im Kraftwerk- und Chemieanlagenbau werden zunehmend hochkorrosionsbeständige Ni-Werkstoffe eingesetzt.

Neben den bisher eingesetzten Verfahren E, WIG, MIG und UP bietet sich das Verfahren MAGMp mit dem Einsatz der neuen Impulsstromquellen als flexibles und wirtschaftliches Verfahren an.

Für den Einsatz dieses Verfahrens waren Schutzgase und Schweißparameter zu entwickeln, die ausreichende Korrosionsbeständigkeit, spritzerarmen Werkstoffübergang, gutes Benetzungsverhalten und geringe Heißrißneigung gewährleisten.

Der neueste Stand der Entwicklung wird anhand von Beispielen dargestellt.

## 2. Aufgaben der Schweißschutzgase – Einfluß verschiedener Schutzgaskomponenten

Die Aufgaben moderner Schutzgase sind in Bild 1 dargestellt. Die oxidierende Aktivkomponente O<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub> führt im Lichtbogen sehr rasch zu Metall-Oxidbildung. Die im Vergleich zu den Metallen wesentlich geringere Ionisationsenergie der Oxide verbessert die elektrische Leitfähigkeit des Lichtbogens und somit die Lichtbogenstabilität. Ein zu hoher Aktivgasanteil verschlechtert besonders bei Ni-Werkstoffen die Lagenüberschweißbarkeit durch Bildung von Oxidschichten erheblich.

<b>Schutz gegen Atmosphäre</b>	Poren, N <sub>2</sub> -Aufnahme, Oxidation
<b>Zündverhalten Stabilisieren des Lichtbogens</b>	Metalloxide (Aktivkomponenten) benötigen geringe Ionisations-Energie
<b>Schmelzbad - Fluß</b>	Oberflächenentspannung durch Aktivkomponenten O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
<b>Benetzungsverhalten Lagenüberschweißbarkeit</b>	Vorwärmung der zu benetzenden Oberflächen mittels Wärmeübertragung durch geeignete Schutzgaskomponenten
<b>Schweißleistung</b>	Steigerung von Schweißleistung und Einbrand durch Energieübertragung
<b>Metallurgie</b>	Legieren von Schweißgut bzw. Nahtoberfläche

Bild 1 Funktion der Schweißschutzgase

Unter Benetzungsverhalten versteht man das Anfließen des Schmelzbades an die Nahtflanken bzw. an die Lagenoberflächen. Gerade bei dem sehr zähen Schmelzfluß der Ni-Werkstoffe ist diese Eigenschaft von besonderer Bedeutung. Irrtümlicherweise hat man früher das gute Benetzen dem dünnflüssigen Schmelzbad, bewerkstelligt durch höhere O<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>-Komponenten, zugeordnet. Wie Versuche gezeigt haben, ist jedoch eine Temperaturerhöhung der zu benetzenden Nahtflanken dafür

verantwortlich. Unter höheren Flankentemperaturen verzögert sich die Erstarrung, d.h. das flüssige Schweißgut kann länger ausfließen.

Das Vorwärmen der Nahtflanken wird durch den Einsatz von Gasen mit guten Wärmeübertragungseigenschaften – wie z.B. He – erreicht. Man spricht hier von einem Vorwärmeeffekt des Schutzgases. Die Energie wird dem Lichtbogen entzogen und gelangt durch die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  in die zu benetzenden Nahtflanken (Bild 2). Bild 3 zeigt die Wärmeleitfähigkeit von Schutzgaskomponenten über den Temperaturverlauf. Die Maxima der molekularen Gaskomponenten beruhen auf Dissoziations- und Rekombinationsvorgängen. Grundsätzlich kommen bei der Wärmeübertragung folgende Vorgänge in Betracht:

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$
- Wärmeübergang  $\alpha$
- Dissoziation / Rekombination
- Ionisation

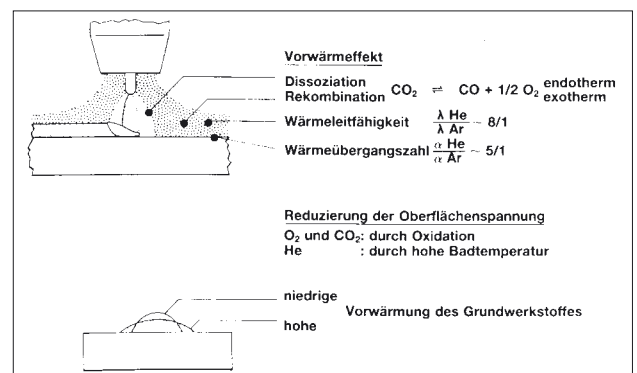


Bild 2 Einfluß der Schutzgaskomponenten auf das Benetzungsverhalten

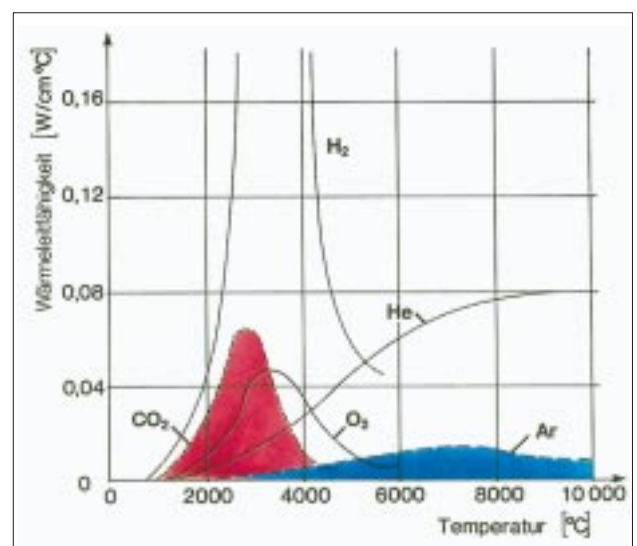


Bild 3 Wärmeleitfähigkeit von Schutzgaskomponenten

### 3. MAGMp-Schweißen von Ni-Werkstoffen

#### 3.1 Schweißschutzgase

Unter der Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen:

- MIGp Ar, Ar/He-Gemische
- MAGMp CRONIGON He 50 Ar + 2 % CO<sub>2</sub> + 50 % He wurden folgende Schutzgase neu entwickelt (Bild 4):  
 CRONIGON® He 50 S Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He  
 CRONIGON® He 30 S Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub> (auch gut anwendbar für Pos q bzw. PC)

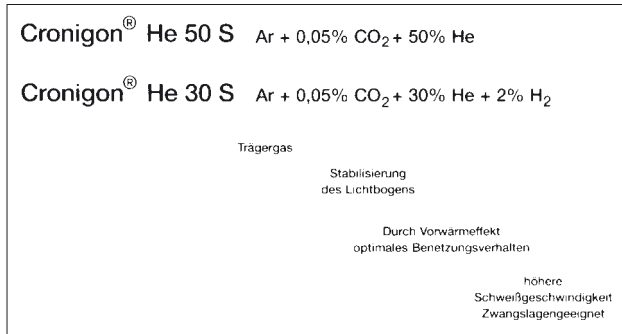


Bild 4 Schweißschutzgase für Ni-Werkstoffe, Einfluß der Gaskomponenten

Die Wirkung der einzelnen Mischgaskomponenten ist wie folgt zu definieren:

Ar: Basisgas

CO<sub>2</sub> Aktivkomponenten dienen zur Stabilisierung des Lichtbogens. Bei Ni-Werkstoffen wird im allgemeinen keine Oberflächenbehandlung zur Sicherung der Korrosionsbeständigkeit nach dem Schweißen durchgeführt. Zu dicke Oxidschichten, verursacht durch höhere Aktivkomponenten (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), können in kritischen Situationen zur Korrosionsanfälligkeit führen. Die Lagenüberschweißbarkeit wird bei Mehrlagenschweißung durch die geringere Oxidation erheblich verbessert.

He: Der gute Vorwärmeeffekt ermöglicht ein optimales Benetzungsverhalten.

H<sub>2</sub>: Einschnürung des Lichtbogens und Wärmeübertragung ermöglichen Zwangslagenposition und schnelleres Schweißen.

Bild 5 zeigt den unterschiedlichen Oxidationsgrad von CRONIGON® He 50 und CRONIGON® He 50S nach einer 5-lagigen Schweißung. Die starke Oxidbildung unter 2 % CO<sub>2</sub>, rechts im Bild, führt zu einer erheblichen Instabilität des Lichtbogens. Ein Zwischenschleifen wäre hier schon nach 3 Lagen erforderlich.

#### 3.2 Grundsätzliches zum MAGM-Impulsschweißen

Ni-Werkstoffe werden nach dem MSG-Verfahren ausschließlich mit der Impulstechnik verschweißt. Dabei sind folgende wesentliche Vorteile gegeben:

- Kurzschlußfreier Werkstoffübergang für den gesamten Bereich der Abschmelzleistung
- Thermisch schonender Werkstoffübergang auf Grund des günstigeren Oberflächen-/Volumenverhältnisses der übergehenden Werkstofftropfen

- Die ideale Pulsform kann abgestimmt werden auf Werkstoff, Draht Ø, Schutzgas und Schweißposition

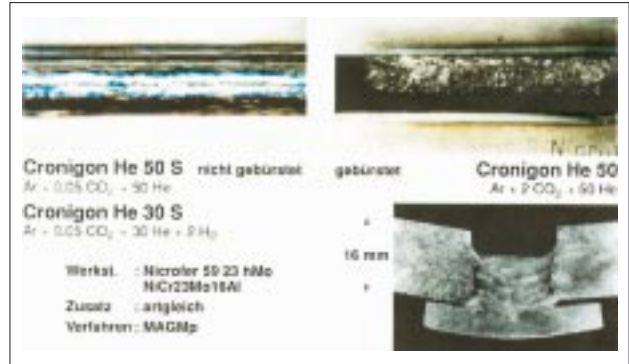


Bild 5 Schutzgasschweißen von Ni-Werkstoffen, Einfluß der Schutzgase

Vorprogrammierte Impulsstromquellen enthalten meist nur Programme für die üblichen Werkstoffe und Schweißschutzgase. Zum Schweißen von Ni-Werkstoffen mit den geeigneten Schutzgasen sind dringend frei programmierbare Anlagen oder Sonderprogramme für vorprogrammierte Standardanlagen zu empfehlen. Anwendungsgerichte Pulsparameter sind im Bild 6 dargestellt.

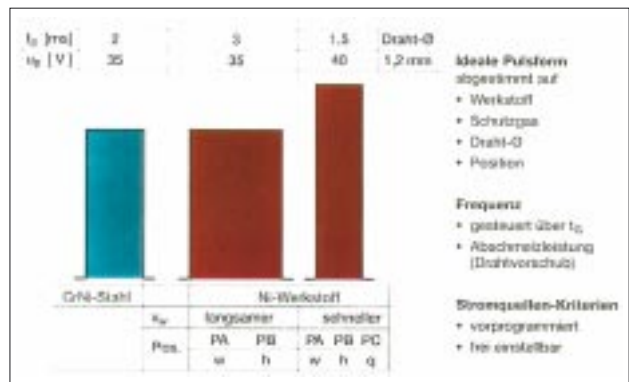


Bild 6 Einstellkriterien MAGMp-Schweißen hochlegierter Stähle und Ni-Werkstoffe

### 3.3 Einfluß der Schutzgase auf Einbrand, Nahtgeometrie und Schweißgeschwindigkeit

#### 3.3.1 Blindnähte

Bild 7 zeigt den Einfluß von verschiedenen Schutzgasen auf Einbrand und Nahtgeometrie. Schweißgeschwindigkeit und Abschmelzleistung wurden dabei konstant gehalten.

Unter Ar entsteht auf Grund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit (d.h. niedriger Vorwärmeeffekt) eine äußerst schmale, stark überwölbte Naht, die zu einem kerbartigen Nahtübergang führt. Der Einbrand ist im Bereich des Nahtübergangs z.T. äußerst gering.

Unter Ar/He 50/50 läuft die Naht wegen der guten Wärmeübertragungseigenschaften von He etwas breiter. Nahtübergang und Einbrand sind deutlich günstiger.

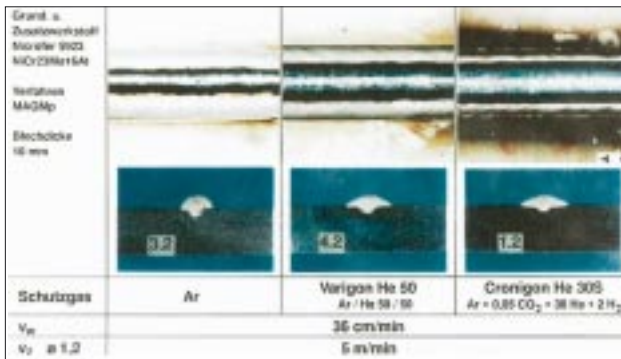


Bild 7 Einfluß von Schweißschutzgas auf Einbrand und Nahtgeometrie

Unter CRONIGON® He 30 S (Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>) werden die Ergebnisse nochmals verbessert. Die Instabilität des Lichtbogens unter inerten Gasen wie Ar bzw. Ar/He 50/50 ist durch die unregelmäßige Randbenetzung zu erkennen.

Die völlig geradlinige Randbenetzung unter CRONIGON® He 30 S wird durch die lichtbogenstabilisierende Aktivkomponente CO<sub>2</sub> erreicht.

### 3.3.2 Kehlnähte

Der Einfluß verschiedener Schweißschutzgase auf die noch sicher anwendbare Schweißgeschwindigkeit ist in Bild 8 dargestellt. Die Abschmelzleistung von 5 m/min Drahtvorschub, Ø 1,2 mm, ist der Blechdicke angepaßt.

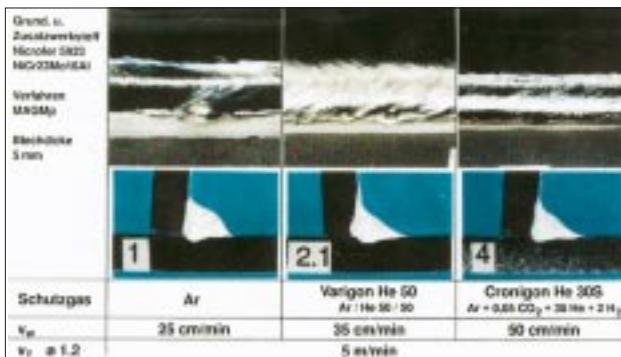


Bild 8 Einfluß von Schutzgas auf Einbrand und Schweißgeschwindigkeit

Unter Ar wird eine anwendbare Schweißgeschwindigkeit von nur 25 cm/min erreicht. Die Wurzel ist noch erfaßt, der Seiteneinbrand ist relativ flach. Die Nahtoberfläche ist stark überwölbt und zeigt einen kerbartigen Nahtübergang mit unregelmäßiger Randbenetzung.

Unter Ar/He 50/50 wird eine anwendbare Schweißgeschwindigkeit von 35 cm/min erreicht. Einbrand, Wurzel-erfassung und Nahtübergänge sind deutlich verbessert. Auch hier zeigen die inerten Gase eine unregelmäßige Randbenetzung.

Unter CRONIGON® He 30 S (Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>) wird problemlos eine Schweißgeschwindigkeit von 50 cm/min mit einwandfreier Qualität erreicht.

Der Wasserstoff bietet hier folgende Vorteile:

- Verbesserung des Benetzungsverhaltens durch Wärmeeintrag über Dissoziation / Rekombination
- Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit und Schweißen dünner Nähte durch Einschnürung des Lichtbogens.

### 3.4 Heißrißverhalten

Das Heißriß- bzw. Wiederaufschmelzrißverhalten wird in der Regel nach dem MVT-Verfahren (Modified Vrestraint Test) geprüft, Bild 9. Eine definierte eingebnetete Schweißnaht wird unter steigendem Verformungsgrad mit einem WIG-Lichtbogen bei definierter Streckenenergie überschweißt. Bewertungskriterium ist die Gesamtlänge aller entstandenen Risse in Abhängigkeit vom Verformungsgrad. Das Heißrißverhalten von Alloy 59 unter verschiedenen Schweißverfahren ist in qualitativer Reihenfolge dargestellt:

- WIG Ar
- MIG Ar; Ar/He
- MAG CRONIGON® He 50 S, CRONIGON® He 30 S
- UP
- E

Bis auf das Verfahren E liegen alle Verfahren mehr oder weniger deutlich innerhalb der geforderten Qualitätsgrenzen. Das Verfahren E kann je nach Elektroden-Ø und Anwendungstechnik (Strich- oder Pendelraupen) zu kritischer Heißrißbildung führen.

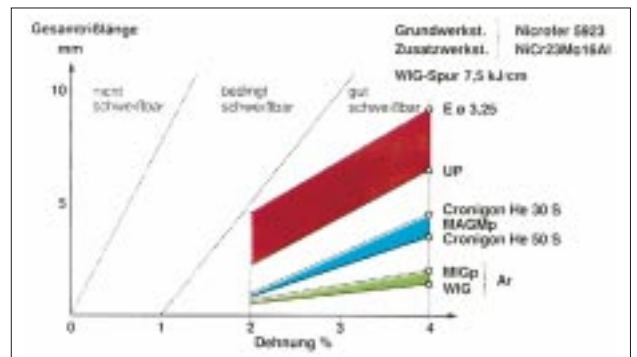


Bild 9 Heißrißverhalten verschiedener Schweißverfahren, MVT

### 3.5 Korrosionsverhalten

Zur Überprüfung des Korrosionsverhaltens von NiWerkstoffen in Rauchgasentschwefelungsanlagen wird meist das Testmedium „grüner Tod“ (green death) eingesetzt, Bild 10. Die Verfahren WIG und E galten bisher als korrosionsbeständigste Schweißverfahren.

Wie aus Bild 10 entnommen werden kann, sind hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit mit dem Verfahren MAGMp und den aktiven Schutzgasgemischen

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>

absolut gleichwertige Qualitäten zu erzielen. Bei Temperaturen über 120 °C sind keine Messungen möglich. Das Testmedium beginnt sich zu zersetzen. Eine Lochfraßbe-



Verfahren	Schutzgas	Prüfmedium	krit. Lochfraß-Temp. (°C)
WIG	Ar	grüner Tod, Cabot H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + HCL + FeCl <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub>	> 120
E	—		
MIGp	Ar		
MIGp	Ar / He 50 / 50		
MAGMp	Cronigon He 50S Ar + 0,05 CO <sub>2</sub> + 50 He		
MAGMp	Cronigon He 30S Ar + 0,05 CO <sub>2</sub> + 30 He + 2 H <sub>2</sub>		
Grundwerkst. Zusatzwerkst. ø 1,2	Microfer 5923; NiCr23M016Al		

Bild 10 Korrosionsverhalten verschiedener Schweißverfahren

ständigheit von 120 °C kann als sehr guter Wert betrachtet werden.

#### 4. Porenbildung

Ni-Werkstoffe zeigen, wie in mehrjährigen Versuchen festgestellt, beim artgleichen Verschweißen eine relativ geringe Neigung zu Porenbildung. Beim Verschweißen von unlegiertem Stahl und Standard-CrNi-Stählen mit Ni-Basis Zusatzwerkstoff war z.T. eine geringfügige Porenbildung unter höheren H<sub>2</sub>-Gehalten (5 %) zu beobachten.

#### 5. Schweißgeeignete NI-Werkstoffe

Eine Auswahl von Ni-Werkstoffen, die unter CRONIGON® He 50S und CRONIGON® He 30S bereits verschweißt wurden, ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.

korrosionsbeständig	hochwarmfest
alloy 400 NiCu30	alloy 617 NiCr23Co12Mo
alloy B2 NiNi028	alloy 718 NiCr19NbMoTi
alloy 625 NiCr22Mo9Nb	
alloy 5923 NiCr23Mo16AL	
alloy 686 A Ni-Cr-Mo-W	
alloy C-276 NiMo1 6Cr1 5W	
alloy 718 NiCr19NbMoTi	

Beim Verarbeiten weiterer Ni-Werkstoffe sollte mit dem Werkstoff- bzw. Gasehersteller Rücksprache genommen werden.



Bild 11 REA-Rauchgasabsorber, Schweißen von plattierten Blechen in Pos PC

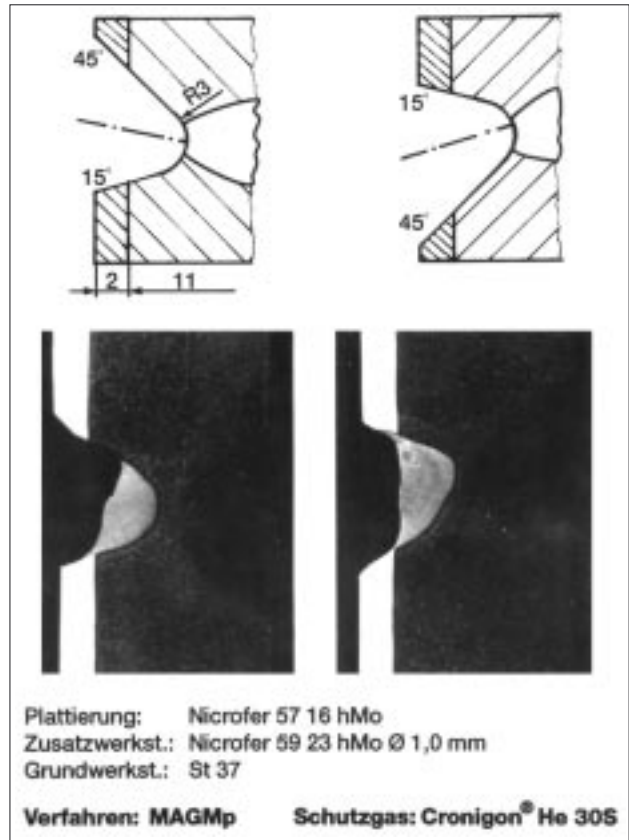


Bild 12 REA-Rauchgasabsorber, Schweißen von plattierten Blechen in Pos PC

#### 6. Anwendungsbeispiele

##### 6.1 Rauchgasabsorber

Rauchgasabsorber bzw. Rauchgaswacher werden aus z.T. Ni-Werkstoff-plattierten Blechen als Türme mit ca. 25 m Ø und ca. 40 m Höhe hergestellt. Beim Verbauen der Blechsegmente entstehen besonders in den Quernähten relativ große Spalten, Bild 11. Im Vergleich zum bisher eingesetzten Verfahren WIG bietet das MAGMp-Schweißen eine wirtschaftliche Alternative. Die Standard-Nahtvorbereitung für Pos PC (q), Bild 12 links, führt zu einem Absacken der Pufferlage mit den Nachteilen:

- Stärkere Aufmischung in der Decklage
- Unsymmetrischer Aufbau der Decklage erhöht die notwendige Raupenzahl
- Die für die Erfassung der Wurzel notwendige Brennerstellung drückt das Schmelzbad nach unten

Die Nahtvorbereitung rechts im Bild ermöglicht eine optimale Nahtausführung.

Bild 13 zeigt eine WIG-HD (Heißdraht)- und eine MAGMp-Schweißung im Vergleich. Nahtoberflächen- und Einbrandqualität sowie Fe-Einmischung sind durchaus gleichwertig. Die Abschmelzleistung der Verfahren ist in Bild 14 dargestellt.

##### 6.2 Auftragsschweißen von Schmiedegesenke

Schmiedegesenke unterliegen starker Abnutzung, vor allem bei hohen Stückzahlen. Wie z.B. in der Kfz-Industrie, Bild 15, müssen diese Werkzeuge häufig überholt

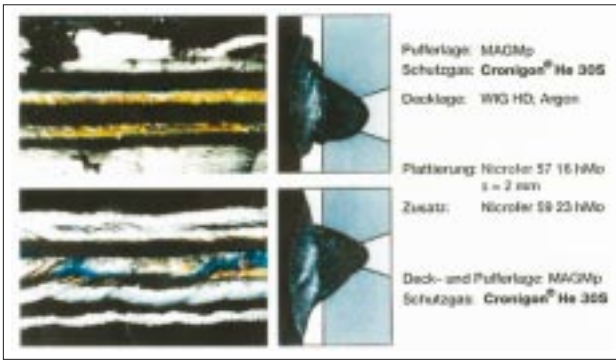


Bild 13 REA-Rauchgasabsorber, Schweißen von plattierten Blechen in Pos PC

Schutzgase: WIG HD; Argon  
 MAGMp; Cronigon® He 30S  
 Plattierung: Nicrofer 57 16 hMo  
 Zusatzwerkst.: Nicrofer 59 23 hMo

Verfahren	WIG HD	MAGMp
Wurzel		
Draht-Ø [mm]	1,2	1,0
V <sub>Z</sub> [m/min]	2	14 = 10 ± Ø 1,2
V <sub>W</sub> [cm/min]	30	55
Decklage		
Draht-Ø [mm]	1,2	1,0
V <sub>Z</sub> [m/min]	2	8 = 5,5 ± Ø 1,2
V <sub>W</sub> [cm/min]	30	40
	vollmechanisch	Hand

Bild 14 Schweißen von plattierten Blechen in Pos PC, Leistungsvergleich der Verfahren



Bild 15 MAGMp Ni-Werkstoffe, Auftragsschweißen von Schmiedegesenken

werden. Die verschlissenen Gesenke werden maschinell abgearbeitet und dann mit einem verschleißfesten hitzebeständigen Ni-Werkstoff, hier Nicrofer 718 (NiCr19NbMo), mehrlagig aufgeschweißt und anschließend maschinell auf Sollmaß bearbeitet. Aus wirtschaftlichen Gründen wird heute das Verfahren (an MAGMp eingesetzt). Mit dem bisher verwendeten Schutzgas Ar kam es häufig zu Problemen wie starke Spritzerbildung, instabiler Lichtbogen und mangelhafte Lagenüberschweißbarkeit. Mit dem Einsatz der Schutzgase

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>

konnten die Probleme beseitigt werden. Auf Grund des sehr stabilen Lichtbogens ist der Einsatz von Robotern möglich.

### 6.3 Ferritische und ferritisch/austenitische Verbindungen an warmgehenden Konstruktionen

Bild 16 zeigt einen Abgasdiffusor, der in einem Gasturbinenkraftwerk an die Gasturbine angeschlossen ist und die Ableitung der Turbinenabgase steuert. Die Betriebstemperatur am Flansch beträgt ca. 700 °C. In Bild 17 ist die Werkstoffzusammenstellung dargestellt. Um die z.T. komplexe und unwirtschaftliche Wärmeleitung zu vermeiden, wurde für alle Verbindungen (Rundnähte) ein Ni-Basis-Zusatzwerkstoff verwendet. Zugleich wird mit diesem Zusatz bei den gegebenen hohen Betriebstemperaturen die sehr kritische C-Diffusion, d.h. die sehr spröde Martensitumbildung, vermieden. Als Schutzgas wurde CRONIGON® He 50 S (Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He) verwendet. Gegenüber Ar ergeben sich folgende Vorteile:

- Besseres Benetzungsverhalten
- Höhere Schweißgeschwindigkeiten
- Optimale Lagenüberschweißbarkeit
- Praktisch spritzerfreier Werkstoffübergang

Die Einsparungen in der Schweißzeit gegenüber Argon waren ca. 30 %.

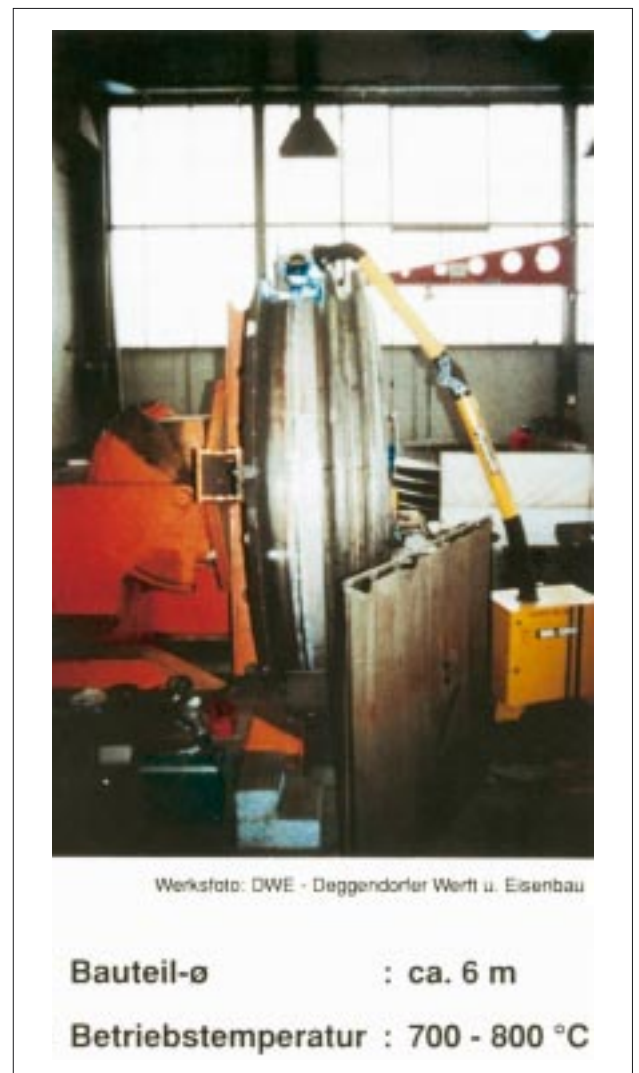


Bild 16 MAGMp Ni-Werkstoffe, Abgas-Diffusor für Gasturbinen



Bild 17 Abgas-Diffusor für Gasturbinen, Werkstoffkombinationen

#### 6.4 Plattieren von Flossenrohrwänden in Müll-Heizkraftwerken

Die Flossenrohrwände von Heiz- bzw. Wärmetauscherkammern in Verbrennungskraftwerken bestehen in der Regel aus St. 378 oder 15 Mo 3. Beim Einsatz von Müll als Heizmedium entsteht durch den Kunststoffanteil eine erhebliche Menge von aggressiven Chloriden, die schon nach 1 – 2 Jahren zu starken Korrosionsangriffen führen. Ein Austausch der Flossenrohrwände würde einerseits zu hohen Kosten führen, andererseits steht der erforderlichen Stillstandszeit von 4 – 5 Monaten eine Müllspeicherkapazität von nur ca. 2 Monaten zur Verfügung. Die Lösung des Problems ist ein Schweiß-Plattieren der Rohrwand-Innenseite mit Ni-Basis-Typ alloy 625 während der üblichen Stillstandszeiten (Bild 18). Auf Grund der geringen verfügbaren Zeiten wurde



Bild 18 Plattieren von Flossenrohrwänden in Müllverbrennungsanlagen

ein Verfahren mit großer Flexibilität und hoher Schweißleistung – das Verfahren MAGMp – in fallender Pos. mit pendeindem Brennervorschub eingesetzt. Für die Kombination Ni-Zusatzwerkstoff, Verfahren MAGMp, ist für ein schnelles Schweißen die Auswahl der Schweißschutzgase von wesentlicher Bedeutung. Das Schutzgas CRONIGON® He 30 S (Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>) ist, bedingt durch den hohen Vorwärmeeffekt, ein sog. „schnelles“ Gas. Gegenüber einem Gasmisch Ar + 2 % H<sub>2</sub> kann die Schweißgeschwindigkeit um mehr als 50 % erhöht werden. Mit der Schweißzeitreduzierung verringert sich auch der Schutzgasverbrauch. Der Werkstoffübergang kann als praktisch spritzerfrei bezeichnet werden. Querschliff und Ansicht einer Flossenrohrplattierung ist in Bild 19 dargestellt.



Bild 19 Plattieren von Flossenrohren

## 7. Zusammenfassung

Der Einsatz des Verfahrens MAGMp mit den Vorteilen der hohen Abschmelzleistung und der flexiblen Anwendbarkeit war für das Schweißen von Ni-Werkstoffen zu überprüfen. Mit der modernen Impulstechnik und den neu entwickelten Schutzgasen

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He

Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>

werden sämtliche Qualitätsanforderungen wie

- mechanisch-technologische Werte
- Korrosionsbeständigkeit
- Flexibilität in der Anwendung
- spritzerarmer Werkstoffübergang

erfüllt. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz dieses wirtschaftlichen Verfahrens ist der Schweißer, der die Anwendungstechnik beherrscht.



# Pulsed MAGM Welding of Nickel Alloys

Ing. Herbert Geipl, D-82049 Höllriegelskreuth, Germany

## 1. Introduction

In environmental engineering, e.g. for flue gas desulphurization systems in power stations and chemical plants, highly corrosion resistant nickel base alloys are on the advance.

In addition to shielded metal arc, TIG, MIG and SAW, the pulsed MAGM process using the new generation pulse power sources is the optimum choice. The process offers both flexibility and economy (MAG denotes metal active gas, MAG M evidences that gas mixtures are used).

For practical application of pulsed MAGM welding, shielded gases and parameters had to be developed that ensure adequate corrosion resistance, low-splatter metal transfer, good wetting properties and a low susceptibility to hot cracking.

Examples will be given to illustrate the latest stage of progress.

## 2. Shielding Gas Objectives – Effect of Various Components

Functions of modern shielding gases are listed in figure 1. The active components O<sub>2</sub> or CO<sub>2</sub> quickly result in oxidation. Metallic oxides require less ionisation energy than metals; therefore, arc ignition properties and arc stability are improved. To high active gas percentages will result in poor interpass fusion, as considerable oxide layers will build up, particularly with nickel alloys.

<b>Protection from contamination by surrounding atmosphere</b>	Porosity, nitrogen pick-up, oxidation
<b>Arc striking properties Arc stabilisation</b>	Metallic oxides (active components) require low ionisation energy
<b>Weld pool fluidity</b>	Reduction of surface tension by addition of active gases - oxygen, carbon dioxide - to the mixture
<b>Wetting properties Interpass fusion</b>	Preheating of wettable surfaces through heat transfer by suitable gas composition
<b>Welding efficiency</b>	Increase in welding efficiency and penetration through energy transfer
<b>Metallurgy</b>	Alloying of weld metal and weld surface

Fig. 1 MAGM welding of stainless steels  
Functions of the shielding gases

The term wetting properties describes the ease of molten metal spreading over the groove faces as well as the individual weld bead surfaces. This is a most important feature, especially with the highly viscous molten pool obtained in nickel alloys welding. By mistake it was thought earlier that good wetting is to be assigned to the fluid molten pool resulting from higher O<sub>2</sub> and/or CO<sub>2</sub> additions to the shielding gas. Series of trials have

proved, however, that it has to be attributed to an increase in temperature in the groove faces. Higher temperature result in a retarded solidification, i.e. the molten pools liquid state will be extended.

Preheating of the groove faces is obtained by using gases featuring good heat transfer properties, e.g. helium. This is called the preheat effect of a shielding gas. Energy is extracted from the arc, and reaches the groove faces to be wetted through thermal conductivity  $\lambda$  and heat transfer coefficient  $\alpha$ , fig. 2.

Figure 3 shows thermal conductivity of various gases vs temperature curve. Peak values of molecular gases are derived from dissociation and recombination actions. Basically, the following phenomena are to be taken into consideration for the transmission of heat:

- Thermal conductivity,
- heat transfer,
- dissociation/recombination,
- ionisation.

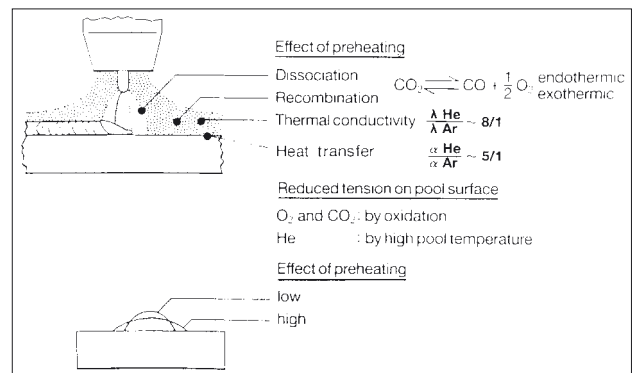


Fig. 2 Influence of shielding gas components on wetting properties

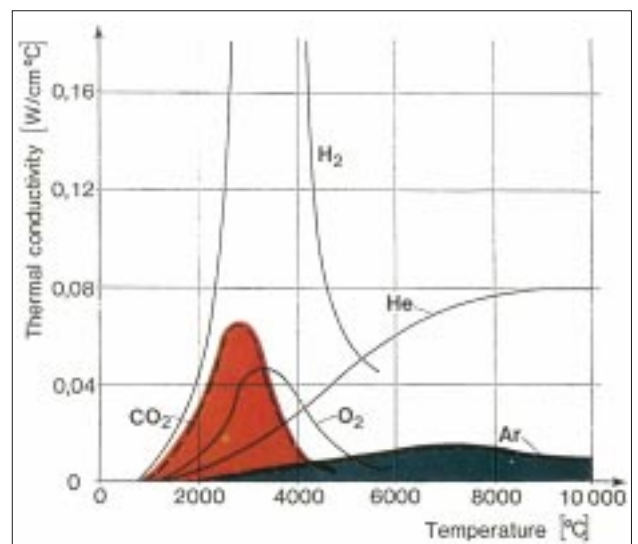


Fig. 3 Thermal conductivity of shielding gas components

### 3. Pulsed MAG M Welding of Nickel Base Alloys

#### 3.1 Shielding gases

Based on empirical results obtained with

- Ar, Ar/He mixtures in pulsed MIG, and
- CRONIGON® He 50 (Ar + 2 % CO<sub>2</sub> + 50 % He)

in pulsed MAGM welding, the following new shielding gases have been developed, figure 4:

CRONIGON® He 50 S Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He  
 CRONIGON® He 30 S Ar + 0,05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>  
 well suitable also for horizontal-vertical welding (position PC)

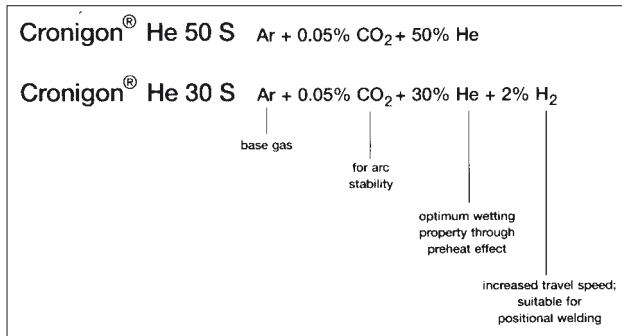


Fig. 4 Shielding gases for nickel alloy weiding Effects of the individual components

The effect of the individual components of gas mixtures can be defined as follows:

- Argon** base gas
- CO<sub>2</sub>** active constituents help stabilise the arc. In general, there is no post-weld treatment conducted on nickel alloys to ensure corrosion resistance. Heavy oxide layers caused by higher active gas percentages (oxygen and/or carbon dioxide) may result in susceptibility to corrosion in critical situations. In multipass welding, slighter oxidation will greatly improve interpass fusion.
- Helium** features good preheat action, thus enabling to obtain optimum wetting behaviour
- Hydrogen** constriction of arc and transmission of heat enable out-of-position weiding to be done, and higher travel speed.

In figure 5, different degrees of oxidation from

CRONIGON® He 50 and CRONIGON® He 50 S are illustrated on a five-pass weld. Heavy oxidation, as has been obtained from the 2 % CO<sub>2</sub> containing gas mixture, fig. 5, right, will adversely affect arc stability to a remarkable extent. Interpass grinding will be necessary not later than after the third layer.

#### 3.2 Fundamentals of pulsed MAGM welding

When gas metal arc processes are applied to weld nickel alloys, pulsed spray welding is the exclusive process variation, which offers the following benefits:

- Axial spray transfer throughout the entire deposition rate range, free from short circuits.

- Thermally gentle metal transfer on the basis of a more favourable surface-to-volume ratio of transferred metal droplets.
- An ideal pulse shape can be obtained, tailored to best suited material, wire size, shielding gas, and welding position.

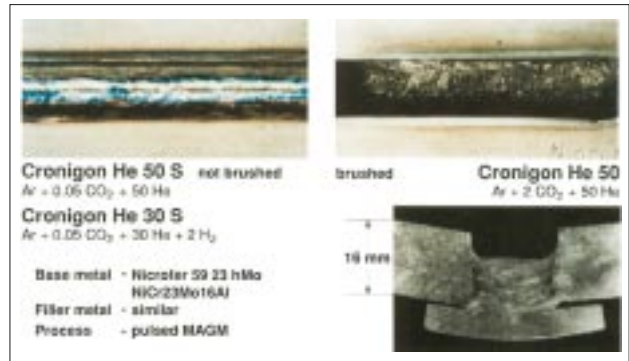


Fig. 5 MAG welding of nickel base alloys Effect of type of shielding gas

Pre-programmed (senergic) pulsed power sources comprise programmes for conventional metals and shielding gases only. For nickel alloy welding with adequate shielding gas mixtures, user programmable power sources, or add-on facilities for standard synergetic units, are mandatory.

Suitable parameters for use in pulsed MAGM welding are contained in figure 6.

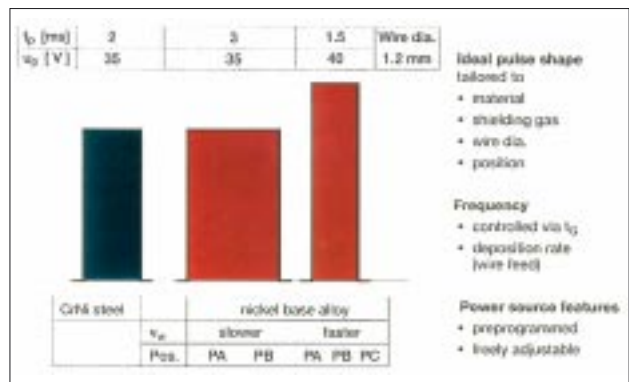


Bild 6 Setting criteria - Pulse MAGM welding, high alloy steels and nickel alloys

#### 3.3 Effect of shielding gas on penetration, weld geometry, and travel speed rate

##### 3.3.1 Bead-on-plate welds

The effect of various shielding gases on penetration and weld geometry is illustrated in figure 7 Travel speed and deposition rate were maintained constant.

In argon shielding, due to low thermal conductivity (i.e. low preheat effect), the deposited weld is extremely narrow and heavily reinforced resulting in a notched

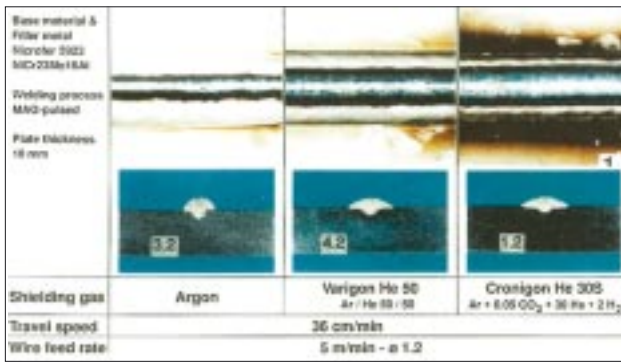


Fig. 7 Effect of shielding gas on penetration and weld geometry

weld interface. Penetration in the interface area is very shallow in parts.

Ar/He 50/50, owing to the good heat transfer characteristics of helium, produced a broader weld, – weld interface and penetration are significantly improved.

With CRONIGON® He 30 S (Ar + 0.05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>), the results have been upgraded even more.

Arc instability in inert shielding, gases Ar and Ar/He 50/50, is expressed in an irregular weld boundary. The entirely straight-lines boundary wetting in CRONIGON® He 30 S shielding results from the arc stabilising action of the active gas addition of CO<sub>2</sub>.

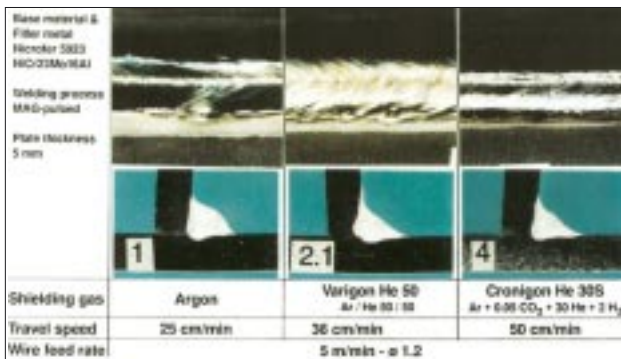


Fig. 8 Effect of shielding gas on penetration and travel speed rate

### 3.3.2 Fillet welds

Figure 8 shows the effect of various shielding gases on a still reliable travel speed; deposition (wire feed) rate was specified at 5 m/min with wire size 1.2 mm.

In argon, the applicable travel speed to be obtained is 25 cm/min. Root fusion is just satisfactory, side wall penetration is comparatively shallow. The weld is heavily reinforced showing a grossly notched interface.

The applicable travel speed, when Ar/He 50/50 is used, reaches 35 cm/min. Penetration, root fusion and weld interfaces are distinctly superior.

The highest applicable travel speed rate of 50 cm/min can be obtained in CRONIGON® He 30 S shielding. Overall results are perfect.

in fillet welding, too, purely inert gases produce a more irregular weld boundary.

The addition of hydrogen presents the following benefits:

- Improved wetting properties through heat input resulting from dissociation and recombination.
- Increased travel speed rates, and the capability to weld stringer beads because of arc constriction.

### 3.4 Hot cracking behaviour

Hot cracking or remelting cracking behaviour is generally tested by using the Modified Varestraint Test (MVT), fig. 9.

A TIG weld of selected heat input is deposited on a defined weld, ground to the plane, at increasing degree of deformation. Total length of all cracks formed is the valuation factor. The hot cracking tendency of Alloy 59 obtained with various welding processes is listed in the order of occurrence:

- TIG using argon,
- MIG using argon, and Ar/He,
- MAG using CRONIGON® He 50 S, and CRONIGON® He 30 S,
- SAW,
- SMA (MMA).

With the exception of shielded metal arc welding, the values with all other processes are more or less distinctly within the specified quality limits. In SMA welding,

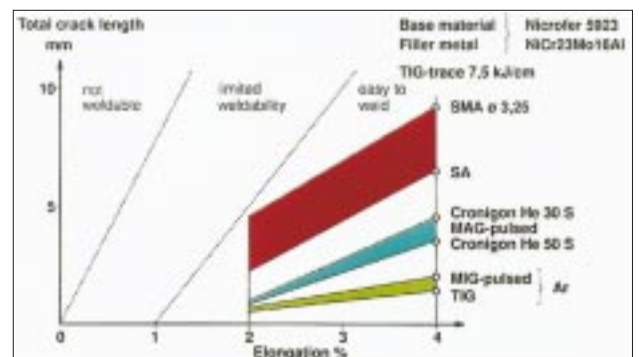


Fig. 9 Hot cracking behaviour of various welding processes - MVT

depending on electrode diameter and applied technology – stringer bead or weave bead method – critical hot cracking may develop.

### 3.5 Corrosion resistance

Corrosion resistance testing of nickel base alloys in flue gas desulphurization (FGD) systems uses the test agent “green death”, figure 10.

So far, TIG and SMA welding were considered to bring optimum results. As becomes evident from the data in fig. 10, pulsed MAGM welding using the active gas mixtures Ar + 0.05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He and Ar + 0.05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub> produces absolutely equivalent corrosion resistance quality.

Weld process	Shielding gas	Testing medium	CPT (°C)
TIG	Ar	Green death, Cabot H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + HCL + FeCl <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub>	> 120
SMA	—		
MIG pulsed	Ar		
MIG pulsed	Ar / He 50 / 50		
MAG pulsed	Cronigon He 50S Ar + 0.05 CO <sub>2</sub> + 50 He		
MAG pulsed	Cronigon He 30S Ar + 0.05 CO <sub>2</sub> + 30 He + 2 H <sub>2</sub>		
Base material Filler metal ø 1,2		Nicrofer 5923; NiCr23M016Al	

Fig.10 Corrosion resistance at welding procedures

Testing at temperatures above 120 °C is not possible, as decomposition of the test solution commences here. However, pitting resistance at 120 °C can be considered most favourable.

#### 4. Porosity

Several years of trials and investigations have proven that nickel base alloys, when welded with materials of matching composition, show a comparatively low tendency to porose. Welding of unalloyed and standard stainless steels sometimes produced an insignificant increase in porosity, when higher hydrogen contents were applied (5 %).

#### 5. Weldable Nickel Alloys

A selection of nickel alloys already welded using CRONIGON® He 50 S and CRONIGON® He 30 S are summarized in the following table:

Corrosion-resistant	High heat-resistant
alloy 400 NiCu30	alloy 617 NiCr23Co12Mo
alloy B2 NiMo28	alloy 718 NiCr19NbMoTi
alloy 625 NiCr22Mo9Nb	
alloy 5923 NiCr23Mol 6AL	
alloy 686 A Ni-Cr-Mo-W	
alloy C-276 NiMol 6Cr15W	
alloy 718 NiCrI 9NbMoTi	

Prior to welding any other nickel alloys it is indispensable to consult the material and/or gas manufacturer.



Fig. 11 FGD-flue gas absorber  
Welding of clad plates in position PC

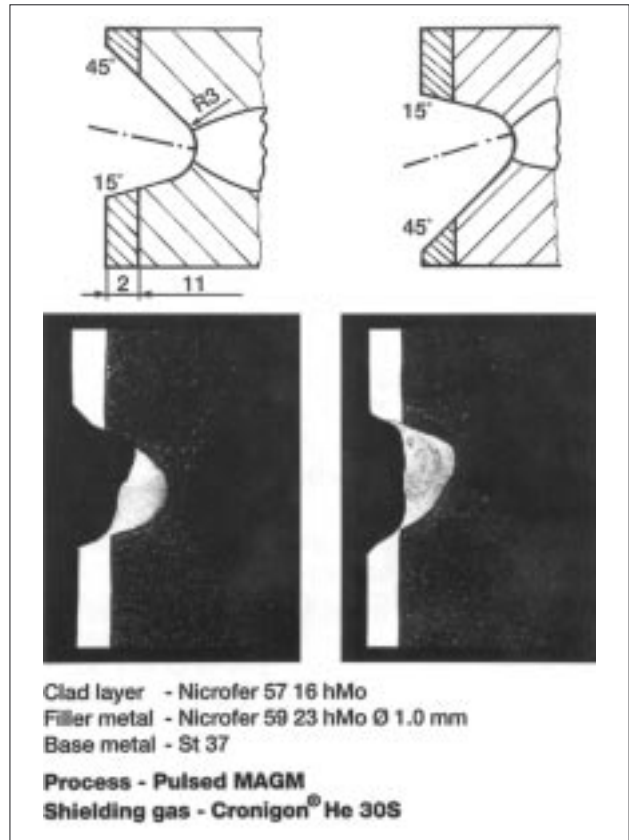


Fig. 12 FGD-flue gas absorber  
Welding of clad plates in position PC

#### 6. Examples of Application

##### 6.1 Flue gas absorber

Flue gas absorbers, also called flue gas scrubbers, are partly manufactured of nickel clad plates to construct the columns approximately 25 m in diameter, and 40 m high. When assembling the plate sections for welding, especially on the transverse seams, quite large gaps are likely to occur, figure 11. So far, the TIG process had been applied. Pulsed MAGM welding now constitutes an economical alternative.

The standard joint preparation for position PC (horizontal-vertical, H/V), left view in figure 12, resulted in buffer layer sagging with the following disadvantages being the consequence:

- More expressed dilution in the cover passes.
- Unsymmetrical build-up of capping layer, therefore, greater number of runs required.
- The torch position necessary for correct root fusion presses the molten metal downwards.

A selected joint preparation as shown in fig. 12 right enables an optimum weld to be deposited.

In figure 13, a hot wire TIG and a pulsed MAGM weld are compared. Weld surface and penetration as well as intermixing of iron are quite equivalent in quality. Welding efficiency of the two processes is included in figure 14.



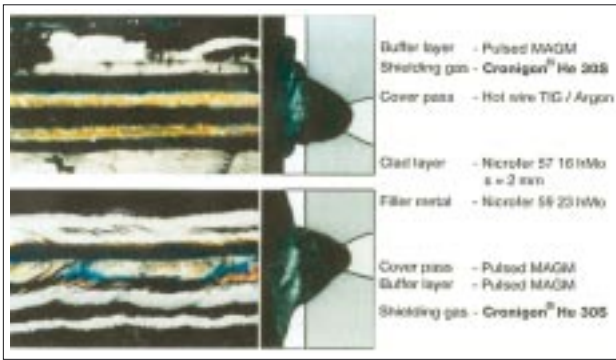


Fig. 13 FGD-flue gas absorber  
Welding of clad plates in position PC

Shielding gases - Hot wire TIG / Argon  
- Pulsed MAGM / Cronigon® He 30S

Clad layer - Nicrofer 57 16 hMo  
Filler metal - Nicrofer 59 23 hMo

Process	Hot wire TIG	Pulsed MAGM
root pass		
Wire dia. [mm]	1.2	1.0
V <sub>Z</sub> [m/min]	2	14 = 10 ± Ø 1.2
V <sub>W</sub> [cm/min]	30	55
cover pass		
Wire dia. [mm]	1.2	1.0
V <sub>Z</sub> [m/min]	2	8 = 5.5 ± Ø 1.2
V <sub>W</sub> [cm/min]	30	40
	fully mechanized	manual

Fig. 14 Welding of clad plates in position PC  
Comparison of process efficiencies

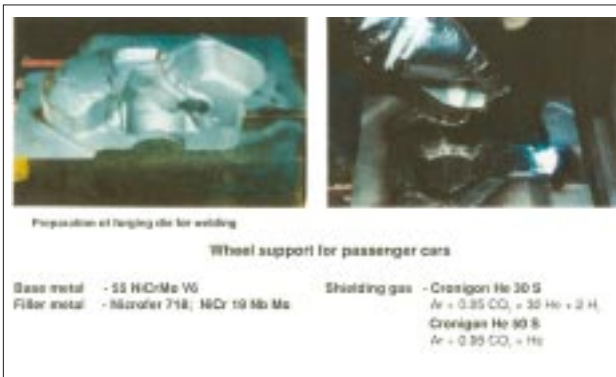


Fig.15 Pulsed MAGM weld surfacing of forging dies

## 6.2 Weld surfacing of forging dies

Forging dies are subject to heavy wear. Particularly where large quantities are to be produced, e.g. in car manufacture, fig. 15, these tools undergo frequent repair work. The worn dies are machined, and then built up in multi-pass work using a wear and heat resistant nickel base alloy, here Nicrofer 718 (NiCr 19 Nb Mo). Finally, they are machined to specified size. For reasons of economy, pulsed MAGM welding is used in our days. Using the so far available shielding gases frequently resulted in unsatisfactory quality, e.g. heavy spatter, unstable arc, and insufficient inter pass fusion. By using the shielding gases Ar + 0.05 % CO<sub>2</sub> + 50 % He and Ar + 0.05 % CO<sub>2</sub> + 30 % He + 2 % H<sub>2</sub>, these problems could be eliminated. Due to the extremely stable arc, the use of robots has been projected.

## 6.3 Ferritic and ferritic-austenitic compositions on structures for use in high temperatures

Figure 16 shows an exhaust gas diffuser in a gas turbine power plant. The diffuser is connected to the turbine to control the turbine gas removal. Temperatures at the flange are around 700 °C. The combination of materials is contained in figure 17 To avoid a complex and partly uneconomical heat conduction, all joints (circular welds) are pulsed MAGM welded using a nickel alloy filler metal. Moreover, this alloy helps avoid the highly critical carbon diffusion, i.e. very brittle martensite formation, which would otherwise be unavoidable. The shielding gas used is CRONIGON® He 50 S.

### The benefits

- increased wetting properties,
- increased travel speed rates,
- optimum inter pass fusion, and,
- next to no spatter,

resulting in welding time savings of approx. 30 % compared with welding in argon shielding.



Fig. 16 MAG welding of nickel base alloys  
Exhaust gas diffuser for gas turbines

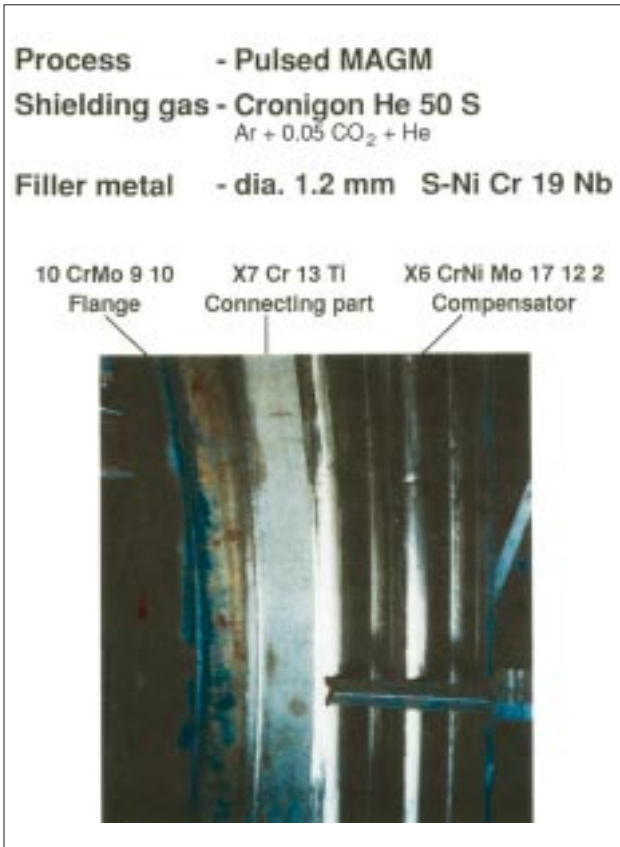


Fig. 17 Exhaust gas diffuser for gas turbines  
 Combination of materials

#### 6.4 Cladding of tubular panels in refuse incineration plants

The finned tube panels of heating, or heat exchanger, chambers in refuse incineration calorific power stations are mainly made of St 37.8 or 15 Mo 3. Refuse used as heating load produces a considerable amount of aggressive chlorides resulting from the plastic material contained in it. Powerful corrosive attacks already in one to two years time will be the consequence. Replacing the tubular panels would result in high cost. Moreover, based on a minimum shutdown time of four to five months, the refuse storage capacity amounts to no more than about two months.

The problem solution is found in weld cladding the panel inner side with nickel base alloy 625 while the station is



Fig. 18 Pulsed MAGM cladding of finned tube panels in waste incinerators

normally shut down, figure 18. Because of rather short time available, the choice was pulsed MAGM welding with its inherent great flexibility and high welding efficiency, in vertical-down position using torch oscillation. The combination of nickel base filler metal and pulsed MAGM necessitates an adequate selection of shielding gas.

CRONIGON® He 30 S is, due to its high preheating effect, called a high-speed gas. Compared with a gas mixture argon + 2 % H<sub>2</sub>, travel speed should be increased by more than 50 %. Considering the benefits as there are time savings and reduced gas consumption, the shorter shutdown times of the incineration station must not be forgotten. Metal transfer is virtually without spatter. Cross section and appearance of the weld are illustrated in figure 19.



Fig.19 Pulsed MAGM cladding of finned tubes

## 7. Summary

MAG welding, its benefits of high deposition efficiency and highly flexible applicability had to be examined relative to welding of nickel base alloys. By using modern pulsed arc technology, and the advanced shielding gases, all quality requirements, e.g.

- mechanical-technological quale,
- corrosion resistance,
- hot cracking resistance,
- flexibility in application, and
- low spatter metal transfer,

could be well satisfied. A precondition for the successful application of this economical process, however, is a well-educated and skilled welding personnel.



# Kompetenz vor Ort.

Gase von Linde sind weltweit im Einsatz – sei es in der metallverarbeitenden Industrie, der chemischen Industrie, der Metallurgie oder Nahrungsmittelindustrie, in der Medizin, der Umwelt- und Wasserstofftechnologie oder wenn Spezialgase benötigt werden.

Unsere erfahrenen Spezialisten beraten gezielt vor Ort, bieten kundenspezifische Hardware und optimieren Ihre Verfahrenstechniken. Ein globales Netzwerk mit anwendungstechnischen Lösungen bildet die Basis für unser umfassendes Know-how. So wird der Produktionsfaktor Gas zu einer wichtigen Komponente für die Steigerung der Produktivität.

Linde und AGA präsentieren sich jetzt gemeinsam als Linde Gas – Ihr starker Partner mit noch größeren Ressourcen und umfassender Kompetenz. Unser Ziel: das richtige Gas für die bestmögliche Steigerung Ihrer Produktivität.



Linde AG  
Geschäftsbereich Linde Gas  
Seitnerstrasse 70  
D-82049 Höllriegelskreuth  
Tel.: +49 89 7446-0  
Fax: +49 89 7446-1230  
[www.lindegas.de](http://www.lindegas.de)

## Erfahrung. Kompetenz. Produktivität.