

SALDATURE

- **TIG**
- **MIG**
- **MAG**

Dizionario

- *Metallo base*: materiale metallico dei pezzi da collegare con saldatura.
- *Metallo d'apporto*: materiale metallico che viene interposto allo stato fuso tra i pezzi da collegare.
- *Lembi*: superfici dei pezzi che saranno collegati.
- *Bagno di fusione*: quella parte del metallo che durante la saldatura si trova allo stato liquido.
- *Giunto saldato*: risultato dell'operazione di saldatura.

Generalità

In generale, i processi di saldatura possono avvenire in due modi diversi:

1. Mediante contemporanea fusione dei lembi dei due pezzi metallici da unire;
2. Con metallo d'apporto che in tal caso è uguale al metallo di base.

SALDATURA TIG

(Tungsten Inert Gas)

*SALDATURA A ELETTRODO
INFUSIBILE IN ATMOSFERA
GASSOSA*

Principio generale di funzionamento

- La saldatura TIG sfrutta l'elevata temperatura prodotta da un arco elettrico che scocca tra un elettrodo infusibile ed il pezzo da saldare.
- L'elettrodo TIG è in tungsteno: materiale ad alta temperatura di fusione (3422°C).

- Il metallo d'apporto, sotto forma di bacchette (non sempre utilizzato), viene immesso nella zona di arco elettrico.
- Tutta la zona di saldatura si trova in un ambiente inerte (argon, elio, ecc.), Viene così impedita l'ossidazione del giunto saldato.



Tipi di processo

- *Manuale*: lunghezza d'arco ed elettrodo controllati dal saldatore.
- *Semiautomatico*: lunghezza d'arco ed elettrodo controllati dalla macchina, spostamento dell'elettrodo controllato dal saldatore.
- *Automatico*: tutte le operazioni effettuate da un robot.

Caratteristiche e campi d'applicazione

- Grande facilità di controllo dell'arco;
- Valori di corrente regolabili entro ampi limiti;
- Sorgente termica potente e concentrata;



La versione manuale è quella che trova le maggiori applicazioni:

- Produzione di tubi ricavati da nastri saldati longitudinalmente;
- Saldatura di tubi alle piastre tubiere;
- Saldatura testa a testa di tubi da caldaie;
- Saldature in cui sia richiesta una notevole qualità estetica.

Preparazione dei lembi

- Per spessori s fino a ca 2,5mm, le preparazioni sono a lembi retti con distanza fino a $0-s/2$ mm, il giunto è eseguito generalmente con materiale d'apporto.
- Per gli acciai l'impiego del TIG è limitato a spessori di 6mm, con 2 o 3 passate (generalmente sopra i 4mm si usa il MIG).
- Per l'alluminio il TIG è usato anche per spessori maggiori.

La macchina per la saldatura

Composizione e funzionamento



Elettrodo

L'elettrodo è realizzato essenzialmente in tungsteno, tre sono i tipi principali:

- 1. Tungsteno puro (99.5-99.7%):** T di fusione: 3380°C . Usato in C.C.P.D. Nella saldatura di acciai, punta particolarmente affilata. Densità di corrente non troppo elevata, in quanto la resistenza alla contaminazione è bassa.

- 1. Elettrodi in tungsteno addizionato al 1-2% di torio:** sono i più costosi. Emettono elevato numero di elettroni, sopportano densità di corrente più elevate, hanno vita più lunga. Più facile accensione dell'arco che risulta anche più stabile.
- 2. Elettrodi di tungsteno addizionato di 0.3-0.5% di zirconio:** utilizzato per condizioni intermedie tra le precedenti (discrete intensità di C.C. – C.A. Di densità molto bassa). Vengono utilizzati principalmente in saldatura manuale con medio-bassa densità di corrente.

Forma dell'elettrodo

Ha fondamentale importanza sulla stabilità dell'arco e sulla penetrazione della saldatura.

- In corrente continua: estremità conica, altezza 1,5 volte il diametro;
- In corrente alternata: l'estremità, preparata piana, fonde leggermente, assumendo una forma semi-sferica che è quella desiderata.

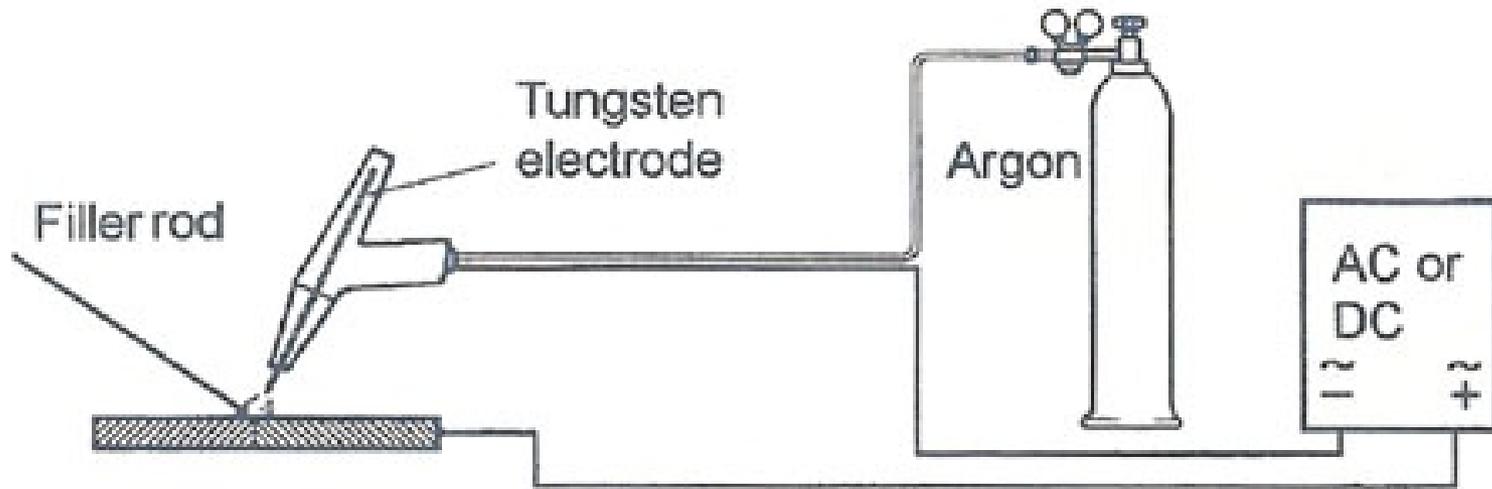


L'arco elettrico

- L'arco elettrico, che è la sorgente di calore, si genera fra l'elettrodo ed il materiale base.
- L'arco viene provocato dal passaggio di corrente elettrica attraverso il gas ionizzato.
- Il metodo migliore per accendere l'arco è quello che prevede l'impiego di una scintilla pilota che viene fatta scoccare tra elettrodo e pezzo per favorire l'innesco dell'arco.

Corrente di saldatura

In base al tipo di materiale da saldare la corrente può essere continua, alternata, o ad impulsi.



- *Corrente continua in polarità diretta (CCPD)*: il polo positivo sta al pezzo, il calore è così concentrato sul materiale da saldare (ca il 70%); L'anodo, cioè il materiale base, è quindi bombardato da elettroni che arrivano ad altissima velocità, producendo un bagno di fusione profondo e stretto. Usata per la maggior parte dei materiali, purtroppo non applicabile ad alluminio e magnesio (metalli fortemente soggetti ad ossidazione).

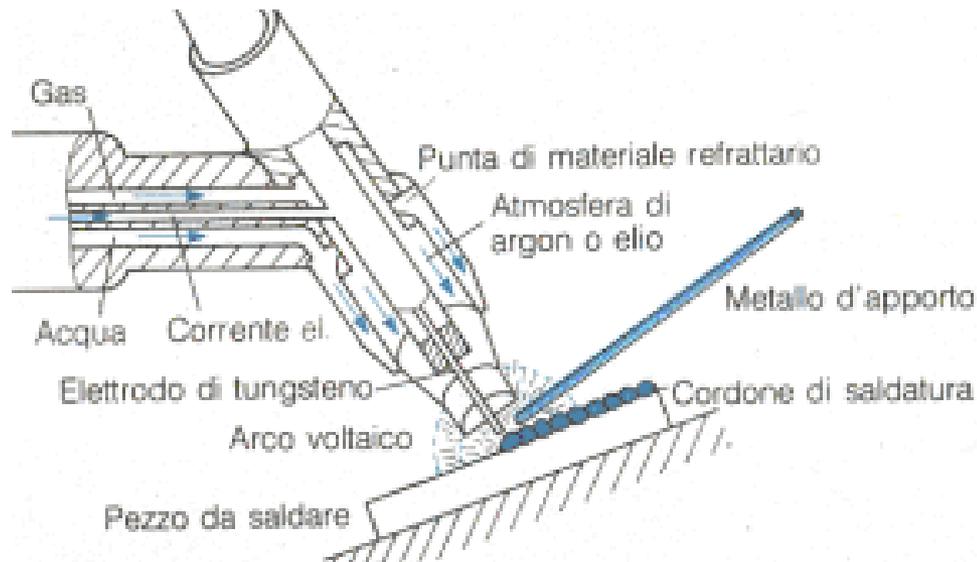
- *Corrente continua in polarità inversa (CCPI)*: polo positivo all'elettrodo, quindi maggiore concentrazione di calore verso di esso (ca 70%); Molto efficace per l'asportazione di ossidi dalle superfici da saldare "*sabbiatura ionica*". Poco utilizzata a causa del fatto che non si possono superare i 100A, bagno largo e poco profondo, forte consumo dell'elettrodo. Adatta a piccoli spessori di alluminio e/o magnesio.

- *Corrente alternata (CA)*: utilizzata per materiali che richiedono la rimozione dell'ossido, è una combinazione dei due tipi di collegamento sopra citati. Il calore è distribuito al 50%, si sfrutta così la sabbiatura termoionica per eliminare gli ossidi infusibili ma al contempo si ottiene un bagno stretto e profondo. Presenta però due problemi: *effetto di raddrizzamento*, *difficoltà di reinnesco dell'arco*. Soluzione più comune: *scintilla pilota*.

- *Corrente pulsante (o modulata)*: impiegata in certe applicazioni critiche (saldatura in posizione di piccoli spessori). Ottenuta sovrapponendo ad una corrente continua di fondo un'onda di corrente, generalmente quadra. La corrente di fondo ha lo scopo di mantenere l'arco acceso ed il bagno caldo e fluido. Cordone formato dalla sovrapposizione delle gocce depositate durante la pulsazione, buona penetrazione.

Gas

Funzione principale: tener lontana l'aria dal bagno, dall'elettrodo e dall'estremità della bacchetta di materiale d'apporto.



I più comunemente usati sono *argon* ed *elio*:

- L'**argon** si trova nell'aria ed è ricavato con la distillazione frazionata.
- L'**elio** viene estratto da gas naturali (poco usato per ragioni economiche).

Possono anche essere usati gas protettivi, quali l'**azoto**, questo trova impiego principalmente nella protezione al rovescio.

In un processo di saldatura parte del metallo depositato sul lato opposto al bagno resta sottoposto all'azione dell'aria, necessita per cui di protezione: **protezione al rovescio**.

Tale forma di protezione è richiesta soprattutto per piccoli spessori, in cui le conseguenze dell'esposizione potrebbero essere più rilevanti.

Metallo d'apporto

- Molto spesso simile se non identico al metallo base (tranne nel caso di saldature eterogenee);
- Frequentemente addizionato con limitate quantità di disossidanti;
- Necessità di una scrupolosa pulizia della bacchetta del filo e dei guanti del saldatore.

Principi operativi

E' necessario osservare alcune precauzioni operative:

- L'arco viene acceso dopo che il gas inerte ha cominciato ad effluire;
- L'arco elettrico viene innescato o dal contatto pezzo elettrodo, o più correttamente mediante scintilla pilota;
- Il materiale d'apporto deve essere inclinato di circa 15° rispetto la superficie del pezzo, come in figura:



- Quando si finisce o interrompe la saldatura, il materiale d'apporto va tenuto sotto il flusso di gas per evitare che si ossidi la punta della bacchetta;
- La torcia viene portata fino all'estremità della saldatura e sollevata quanto basta a spegnere l'arco, ma non tanto da permettere l'ossidazione;
- La protezione gassosa viene mantenuta fino al raffreddamento del bagno.

Applicazioni di saldatura automatica

Le principali applicazioni del processo in forma automatica sono:

- Saldatura automatica di tubi con piastra tubiera;
- Saldatura testa a testa di tubi.

Vantaggi del TIG

- E' possibile saldare quasi tutti i tipi di materiali ferrosi ed anche materiali non ferrosi.
- Elevata qualità delle saldature.
- Utilizzabile in tutte le posizioni di saldatura.
- Non produce scoria.
- Zona termicamente alterata molto limitata.

Svantaggi del TIG

- Sensibile alle correnti d'aria.
- Elevati costi dei gas protettivi.
- Bassa produttività.
- Tecnica di difficile apprendimento.

Difetti principali

- Inclusioni di tungsteno.
- Ossidazione del cordone al rovescio (nel caso in cui non siano state adottate le precauzioni di protezione gassosa).
- Inclusioni di gas, dovute alla scarsa pulizia dei lembi e a tecnica operativa scadente nel movimento della torcia e della bacchetta.
- Contaminazione del gas di protezione.

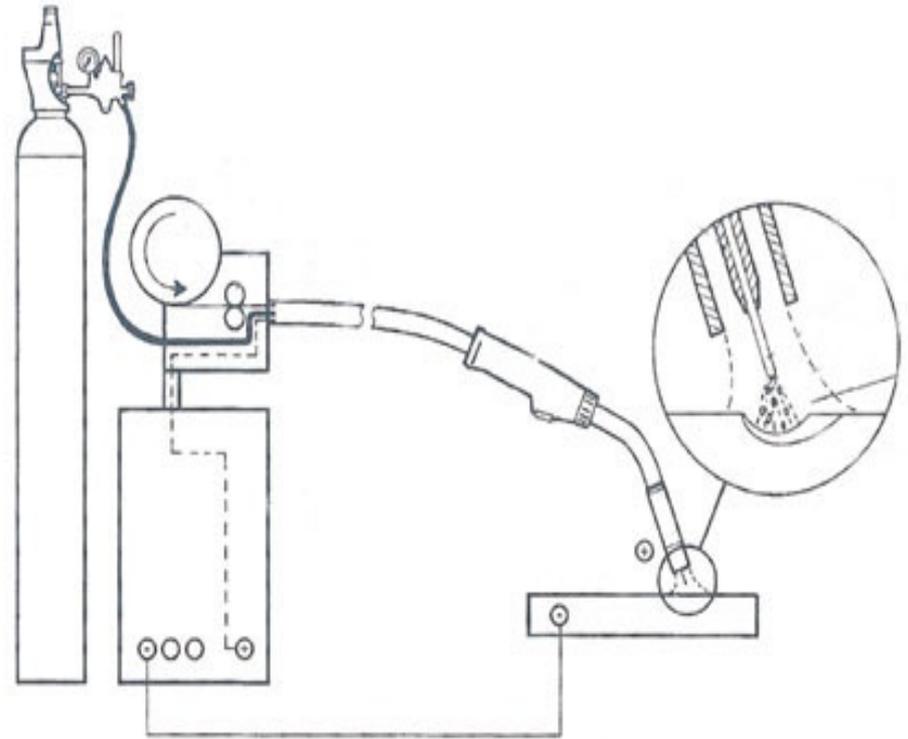
SALDATURA MIG-MAG

Nomenclatura

- Saldatura a filo continuo in atmosfera gassosa di protezione
- MIG – MAG (di uso corrente)
 - MIG: Metal Inert Gas
 - MAG: Metal Active Gas
- G.M.A.W. : Gas Metal Arc Welding (internazionale)

L'impianto

- Torcia contenente il filo.
- Dispositivo di avanzamento del filo.
- Circuito di gas di protezione.
- Circuito elettrico.
- Circuito di raffreddamento ad acqua.



Torcia

- Il procedimento sfrutta l'elevata temperatura prodotta da un arco elettrico che scocca tra un elettrodo fusibile ed il pezzo da saldare.

- la torcia contiene il filo e fornisce direttamente al filo l'energia elettrica di fusione

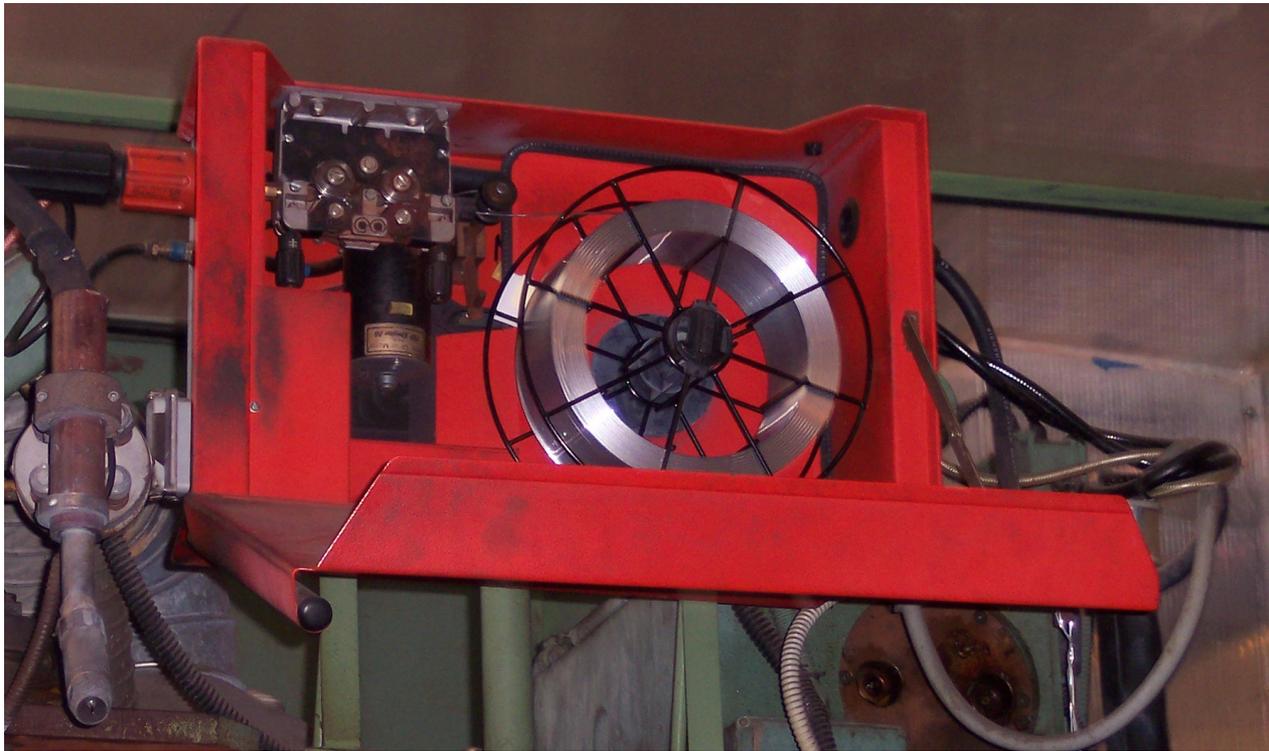
- L'elettrodo è il filo continuo che costituisce il metallo d'apporto.



- Particolare attenzione va posta nei fili di materiale d'apporto che introducono nel bagno di fusione gli elementi disossidanti: manganese, silicio ed, eventualmente, alluminio e titanio.
- La presenza di tali elementi è indispensabile dato che il gas di protezione non isola del tutto l'arco voltaico dall'atmosfera circostante

Dispositivo di avanzamento del filo

- L'avanzamento del filo avviene tramite un meccanismo di spinta.



- Il filo viene prelevato in modo continuo da un apposito gruppo di trascinamento controllato elettronicamente, cosicché si ha un sistema automatico di saldatura .
- Ad ogni valore di corrente deve corrispondere un'unica velocità del filo .

- Tale metodo di spinta è improponibile per l'alluminio e le sue leghe perché il rischio di cedimento del filo è elevato.
- Per tali leghe il filo è sottoposto a trazione da parte di un meccanismo situato nella torcia.
- La velocità di avanzamento del filo può arrivare sino a 80 m/min, ed è correlata alla variazione di intensità di corrente dell'arco.

Tabella parametri saldatura WELD1

Indice	V	A	Speed
4	7	210	60
5	6	215	45
6	6	210	45
7	6	225	55
8	6	235	45

Tabella parametri saldatura in allarme temperatura WELD2

Indice	V	A	Speed
1	6	210	84
2	6	210	70
3	6	225	50
4	7	210	60
5	6	215	45

Gas di protezione

- Nei procedimenti MIG-MAG la protezione del bagno è affidata ad un' atmosfera gassosa che può essere passiva o attiva.
 - Per il *MIG* i gas di protezione sono Argon ed Elio (che non presentano alcuna attività chimica nemmeno ad alta temperatura).
 - Per il *MAG*, invece, vengono usati dei gas che hanno una modesta attività chimica (CO₂, miscele di argon e CO₂).

Procedimento MAG

- Nella saldatura MAG si sostituiscono i gas inerti con il biossido di carbonio (puro al 99.5%), che per effetto dell'elevatissima temperatura dà origine alla seguente reazione.



- L'O₂ e il CO sono gas reattivi.

Circuito elettrico

L'arco elettrico può essere alimentato o con corrente *continua* o *alternata*.

- La corrente continua fornisce un arco più stabile e si ottengono cordoni più regolari con notevoli velocità di lavoro
- Operando in corrente continua si ha la possibilità di scelta della polarità, cioè si può collegare l'elettrodo al polo negativo e la massa al polo positivo e viceversa.

- La corrente alternata viene utilizzata per materiali aventi ossidi superficiali con temperature di fusione decisamente superiori rispetto a quelle del materiale base. Affinché l'arco risulti stabile è necessario sovrapporre alla corrente alternata normale fornita dal trasformatore una debole corrente ad alta frequenza

Impianto di raffreddamento

- Nella maggior parte degli impianti semiautomatici non vi è la necessità di un impianto di raffreddamento, poiché i tempi che trascorrono tra le varie fasi di saldatura sono piuttosto lunghi.
- Negli impianti a gestione automatica la necessità si fa sentire a causa dei tempi di raffreddamento sempre più brevi.

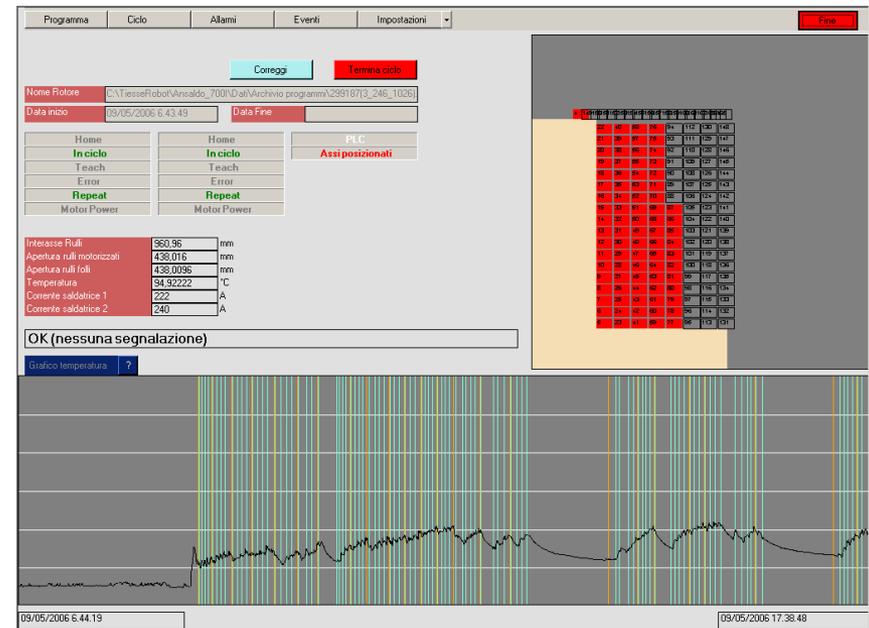
Le parti soggette a temperature particolarmente elevate sono:

- La pistola di saldatura a causa del calore irradiato dall'arco.
- Il pezzo da saldare il quale se non è di dimensioni elevate non riesce a smaltire il calore per conduzione.

- Per ovviare al primo problema in certe apparecchiature il raffreddamento avviene in un circuito chiuso (ad acqua) comandato automaticamente dalla corrente di saldatura.
- Le torce o le pistole di moderna concezione sono autoraffreddanti, nel senso che il gas di protezione provvede da solo ad evitare dannosi surriscaldamenti.

Per risolvere il secondo problema le tecniche sono molteplici ed ancora in fase di sviluppo

- Aiutandosi con opportuni sensori, che rilevano la temperatura sul pezzo, dei rele fanno partire dei ventilatori e bloccano l'operazione di saldatura, che riprende solo quando la temperatura è scesa sotto il livello di guardia.



Impianto per saldatura MIG



L'immagine rappresenta una saldatrice MIG a controllo automatico impiegata nell'industria automobilistica.

Parametri di saldatura

- Criteri di scelta
 - Dimensione della saldatura
 - Materiale saldato
 - Profondità del giunto
 - Campo di applicazione del prodotto finito
 - Esperienza dell' operatore

Parametri

- L'operatore ha la possibilità di impostare sulla macchina una serie di valori che, in via generale, vanno a descrivere la geometria del pezzo.
- Il PLC, con un opportuno comando, trasforma questi parametri in dati da lui elaborabili.
- Quindi è in grado di trasformare questi dati in coordinate geometriche che governeranno gli organi meccanici.

Esempio

Programma Ciclo Allarmi Eventi Impostazioni Fine

Nome: C:\TiesseRobot\Ansaldo_700\Dat\Archivio programmi\299187\

Carica Salva Converti CSV Aggiorna

Dimensioni rotore

D1) Diametro esterno rotore: 627 mm

D2) Diametro fine saldatura: 626 mm

D3) Diametro inizio saldatura: 480 mm

a) Lunghezza rotore: 961 mm

b) Sporgenza: 45 mm

c) Lunghezza cava: 45 mm

Rinforzo per 2 poli

Parametri isola (per PLC)

Interasse Rulli: 961 mm

Apertura rulli mot.: 438 mm

Apertura rulli folli: 438 mm

Temperatura1: 80 °C Temperatura4: 180 °C

Temperatura2: 100 °C Temperatura5: 85 °C

Temperatura3: 115 °C

Calcola Attuali

Genera sequenza di saldatura Verifica sequenza

Tabella cordoni

N°	Y	Z	Weld 1	Weld 2	Stacco	Angolo	Disp
1	-8	73	1	1	0	1	(null)
2	-8	73	1	1	0	1	(null)
3	-8	73	1	1	0	1	(null)
4	-8	73	1	1	1	1	(null)
5	0	0	8	8	0	3	(null)
6	0	4	8	8	0	0	(null)
7	0	8	8	8	0	0	(null)
8	0	12	8	8	1	0	(null)
9	0	16	8	8	0	0	(null)
10	0	20	8	8	0	0	(null)
11	0	24	8	8	0	0	(null)
12	0	28	8	8	1	0	(null)
13	0	32	8	8	0	0	(null)
14	0	36	8	8	0	0	(null)
15	0	40	8	8	0	0	(null)
16	0	44	8	8	1	0	(null)
17	0	48	8	8	0	0	(null)
18	0	52	8	8	0	0	(null)
19	0	56	8	8	1	0	(null)
20	0	60	8	8	0	0	(null)
21	0	64	8	8	0	3	(null)
22	0	68	8	8	1	3	(null)
23	6	0	7	7	0	3	(null)
24	6	4	7	7	0	0	(null)
25	6	8	7	7	0	0	(null)
26	6	12	7	7	1	0	(null)
27	6	16	7	7	0	0	(null)
28	6	20	7	7	0	0	(null)

Tabella parametri saldatura WELD1

Indice	V	A	Speed
4	7	210	60
5	6	215	45
6	6	210	45
7	6	225	55
8	6	235	45

Tabella parametri saldatura in allarme temperatura WELD2

Indice	V	A	Speed
1	6	210	84
2	6	210	50
3	6	225	50
4	7	210	60
5	6	215	45

Procedimenti

In funzione dei parametri di saldatura adottati, con una stessa saldatrice si può ottenere il trasferimento del metallo di apporto dal filo-elettrodo al pezzo da saldare nei modi seguenti:

1. procedimento Spray-arc
2. procedimento Short-arc
3. procedimento Puls-arc

Procedimento Spray-arc

In questo procedimento le minutissime goccioline che si formano all'estremità del filo si staccano dall'elettrodo trascinate dalla corrente di plasma e percorrono la distanza corrispondente alla lunghezza d'arco, entro il bagno di fusione. Il numero di gocce formatesi nell'unità di tempo (=1s) dipende dall'intensità di corrente e dal tipo di gas protettivo impiegato: di solito, da 20 a 150 gocce.

Il procedimento spray-arc si ottiene:

- Con correnti al di sopra di un certo valore che dipende dal particolare diametro del filo-elettrodo, in genere superiore a 0,2 kA (e sino ad un massimo di 1,5-2 kA).
- Con una tensione superiore a 25 V.

Con questo procedimento il materiale d'apporto che viene depositato è notevole: da 3 a 7 kg/h e quindi il procedimento è limitato alla posizione piano o poco inclinata.

Procedimento Short-arc

Per intensità di corrente e tensione più basse si ottiene progressivamente una lunghezza d'arco più corta sino a che l'estremità del filo si immerge nel fuso; si forma così un cortocircuito per il quale aumenta bruscamente l'intensità di corrente che per effetto joule fonde la zona di minor sezione collegante la goccia metallica (formatasi all'estremità del filo) al filo stesso. Una volta staccatasi questa goccia il cortocircuito si interrompe, l'arco si riaccende e il ciclo si riprende.

Short-arc si ottiene:

- Con correnti elettriche da 70 a 200 A;
- Le tensioni sono piuttosto basse (in base alle normative ISO dipendono da esse secondo la relazione $V=14+0,05I_s$ dove I_s è la corrente di saldatura.
- Con fili sottili: diametro di circa 1 mm.

Questa tecnica limita il trasferimento di calore sui pezzi da saldare, e pertanto si presta per la giunzione di lamiere di piccolissimo spessore in qualsiasi posizione.

Procedimento Pulsed-arc

- Si parte da una corrente I_b di bassa intensità, la quale garantisce il mantenimento dell'arco tra due impulsi.
- Ad intervalli regolari alla corrente I_b si sovrappongono degli impulsi I_p di maggiore intensità, ciascuno dei quali provoca la formazione di una goccia ed il suo trasferimento dal filo al bagno di saldatura senza l'innesto del cortocircuito.

Vantaggi

- Bagno particolarmente freddo, che unitamente ad un'accelerazione di trasferimento (che interessa una zona molto ristretta), porta ad un aumento della penetrazione senza alterare eccessivamente la condizione termica del pezzo da saldare.
- Non è richiesta la presenza di disossidanti, cosa molto importante nel caso delle leghe di alluminio e di magnesio.

Caratteristiche e campi di impiego della saldatura MIG - MAG

- Viene applicata a strutture di limitata qualità estetica dove invece è richiesta un'alta produttività.
- Usato quando la produttività e la semplicità operativa sono importanti.
- E' più semplice, più pratico, più veloce del TIG.
- Caratterizzato da elevate intensità di corrente (100-200 A/mm²).

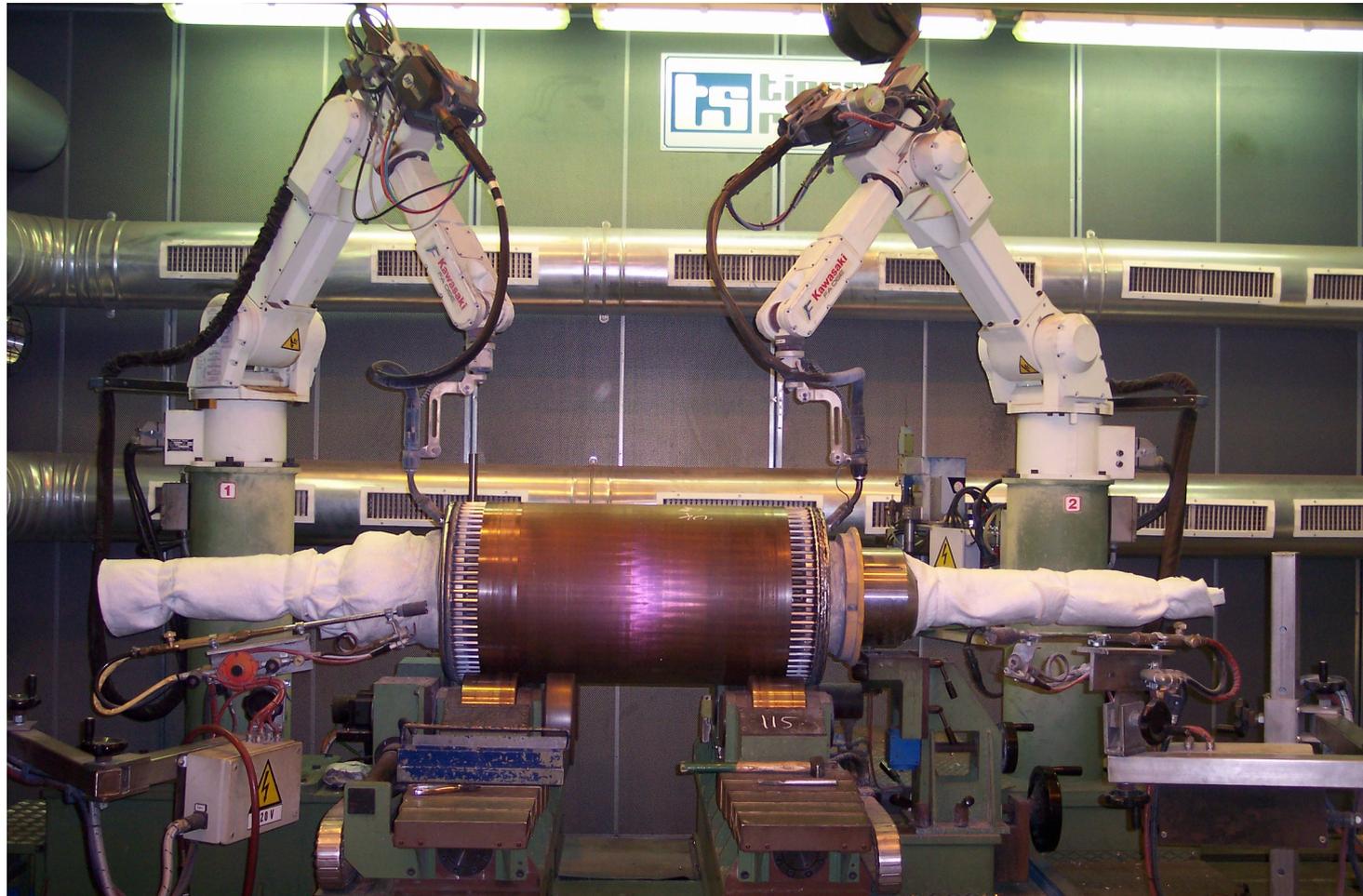
Caratteristiche e campi di impiego della saldatura MIG - MAG

- L'automazione, soprattutto nel controllo della lunghezza dell'arco è elevata.
- Maggior penetrazione e velocità di esecuzione rispetto a molti altri tipi di saldatura.
- Si possono saldare in modo automatico o semi automatico tutte le leghe di importanza industriale.

Svantaggi

- Macchine più costose e complesse.
- Non sono impiegabili per saldature in zone difficili da raggiungere.
- Le apparecchiature sono difficilmente trasportabili, poiché molto ingombranti.

Esempio di applicazione



Saldatura di una gabbia in alluminio di un motore asincrono.

