

4 Saldatura ad arco elettrico

Proprietà e caratteristiche degli elettrodi rivestiti

Elettrodi a rivestimento basico

Gli elettrodi basici derivano il loro nome dalle quantità preponderanti di sali di calcio (CaCO_3) e di fluoruri (CaF_2) contenuti nel rivestimento.

Sono particolarmente adatti per saldare:

- acciai che contengono molte impurità (perché la scoria basica favorisce l'eliminazione di zolfo e fosforo che potrebbero essere contenuti nel materiale base);
- acciai con un elevato tenore di carbonio, superiore allo 0,30% (perché il materiale è molto plastico, duttile e tenace);
- lamine di grosso spessore.

L'atmosfera di CO_2 , prodotta durante la fusione del rivestimento basico, ha funzione protettiva e disossidante del bagno di saldatura.

Le caratteristiche meccaniche degli elettrodi basici sono ottime soprattutto per le proprietà plastiche (resilienza e allungamento): perciò si ricorre a questi elettrodi nella saldatura di grossi spessori vincolati o di parti sottoposte a sollecitazioni dinamiche molto elevate.

Occorre tuttavia osservare che l'elevata igroscopia del rivestimento può dar luogo a immissione di idrogeno nel bagno, in grado di causare soffiature durante la fusione.

La scoria presenta una certa resistenza all'asportazione.

L'accensione e il mantenimento dell'arco risultano piuttosto difficoltosi.

Componenti

I rivestimenti basici sono costituiti prevalentemente da carbonati di calcio e magnesio, con l'aggiunta di fluorite che ne facilita la fusione. Contengono inoltre ferro-leghe di Mn, Ti e Si fino al 20%, con funzione disossidante.

Facilità di maneggio

Molto ridotta.

Il saldatore deve mantenere l'arco corto e operare con movimento molto lento, per evitare la formazione di soffiature nel deposito.

Il metallo d'apporto deposita sul bagno di fusione sotto forma di grosse gocce che possono provocare corto circuiti con spegnimento dell'arco.

Azione depurante

Ottima.

La scorta basica esplica un'azione desolforante e defosforante, che conferisce al giunto ottime caratteristiche meccaniche e tecnologiche ed evita la formazione di cricche.

Sviluppo di idrogeno

Lo sviluppo di H è ridotto, perché gli elettrodi sono conservati ben asciutti nel loro involucro di polietilene.

Tuttavia, se molto secchi gli elettrodi diventano fortemente igroscopici. Perciò prima dell'uso devono essere essiccati in appositi fornelli, alla temperatura di circa 150-200 °C per ridurre ulteriormente lo sviluppo di H.

Tipo di corrente

I migliori risultati si hanno usando c.c a polarità inversa (polo (+) alla pinza).

Proprietà della scoria

Dato che la scoria si stacca con difficoltà, è necessaria molta cura nell'asportazione.

La scoria è però facilmente rifusibile, perciò le eventuali tracce che possono rimanere su un cordone vengono eliminate durante la passata successiva.

Elettrodi a rivestimento acido o neutro

Il rivestimento di questi elettrodi è costituito da ossido di ferro e ferro-leghe la cui funzione è disossidante.

Il rivestimento non influisce sulla composizione del metallo depositato durante la fusione, perciò l'azione di questi elettrodi è neutra.

Sono adatti per saldare acciai a debole tenore di carbonio, ma sono sconsigliati per acciai suscettibili di tempra.

Il cordone è compatto, estetico e presenta buone caratteristiche meccaniche, purché il materiale base non sia di qualità scadente, non contenga cioè molto zolfo e molto fosforo.

La penetrazione degli elettrodi è molto profonda.

L'innesco a freddo è piuttosto difficile.

La scoria è vetrosa, abbondante, leggera e facilmente asportabile.

Questi elettrodi sono adatti per saldare in qualunque posizione.

Componenti

Ossidi di ferro sotto forma di oligisto e magnetite (30%); ferro-leghe (25%), materiali scorificanti a base di quarzo, fosfati, caolino (40%), e CaCO_3 .

Facilità di maneggio

Buona.

Le difficoltà aumentano passando dalla saldatura in piano a quella in posizione.

Azione depurante

Non molto efficace.

Questi elettrodi perciò non sono raccomandabili per la saldatura di acciai che contengono impurezze.

Sviluppo di idrogeno

Sensibilmente alto.

Infatti, a differenza di quelli basici, non possono essere essiccati a elevate temperature, e sono quindi umidi.

Tuttavia non è richiesta un'accurata conservazione: l'eventuale umidità assorbita modificherebbe infatti di poco la quantità totale di acqua contenuta nel rivestimento, che è sempre alta.

Tipo di corrente

Funzionano sia in c.a. che in c.c.; nel secondo caso, lavorano meglio con polarità diretta (polo (-) all'elettrodo).

Proprietà della scoria

Facilmente asportabile, ma difficilmente rifusibile, perciò le eventuali tracce incluse nel deposito non vengono eliminate con le passate successive.

Elettrodi a rivestimento cellulosico

Il rivestimento di questi elettrodi contiene un 30% di materie organiche, quali la cellulosa.

Questi elettrodi presentano la proprietà di lasciare poca scoria, perché la cellulosa bruciando volatilizza facilmente in fumi.

Tali fumi sono ricchi di CO_2 , che ha la funzione di proteggere il bagno di fusione.

La penetrazione è molto forte (superiore a quella degli altri elettrodi) perché la cellulosa aumenta la velocità di fusione e perciò amplia la quantità del materiale di apporto fuso.

Sono particolarmente adatti per la saldatura in posizione, anche in verticale discendente. L'effetto della cellulosa consente di ovviare alla minor penetrazione nella saldatura, in posizione verticale discendente. Questi elettrodi hanno perciò caratteristiche di alta penetrazione e facilitano la scoria.

Vengono largamente impiegati nella saldatura di tubi.

La loro lunghezza, 30 cm, è inferiore di almeno 10 cm rispetto ad altri elettrodi, perché un riscaldamento troppo prolungato potrebbe causare l'incendio del rivestimento.

Le caratteristiche meccaniche del cordone realizzato con elettrodi a rivestimento cellulosico sono molto buone.

Componenti

Cellulosa 30%, ossidi di titanio 30%, scorificanti a base di silicio, ferro-leghe disossidanti 10%.

Facilità di maneggio

Molto buona.

Spesso vengono usati per saldature di giunti che non consentono una ripresa a rovescio. Tuttavia, producendo molto fumo, spruzzi e rumore, richiedono una discreta abilità d'uso.

Azione depurante

Assolutamente trascurabile.

Sviluppo di idrogeno

Molto accentuato; infatti la cellulosa durante la combustione produce idrogeno.

Tali elettrodi vengono perciò utilizzati per saldature di acciai dolci.

Tipo di corrente

c.c. con polarità inversa. Esistono anche tipi di elettrodi a rivestimento cellulosico per c.a.

Proprietà della scoria

Di quantità ridotta, e facilmente eliminabile.

Elettrodi a rivestimento al rutilo

Il rivestimento di questi elettrodi è costituito per oltre il 50% di rutilo, un biossido di titanio, o da altri ossidi di titanio.

Il rutilo possiede la proprietà di rendere l'arco morbido e di rendere la scoria abbondante e vischiosa. Le caratteristiche meccaniche del cordone sono scarse, ma è decisamente gradevole l'aspetto del cordone stesso dal punto di vista estetico.

Per questa ragione spesso viene usato un elettrodo al rutilo nell'ultima passata di saldatura.

In genere le caratteristiche di questi elettrodi non si discostano molto da quelle degli elettrodi a rivestimento acido.

Sono di semplice utilizzo.

Vengono ampiamente usati per saldare acciai dolci, anche in costruzioni molto complesse.

Componenti

Ossidi di titanio 50%, ferro-leghe 15%, scorificanti a base di silicio 35%.

L'ossido di titanio agevola la fluidità del bagno durante il deposito del materiale, e questa fluidità spiega le qualità estetiche del cordone realizzato.

Facilità di maneggio

Ottima, in tutte le posizioni di saldatura. Esistono vari tipi di elettrodi a rivestimento al rutilo, alcuni più adatti per la saldatura in piano, altri per la saldatura in posizione.

Azione depurante

Praticamente nulla.

Sviluppo di idrogeno

Notevolmente alto; di conseguenza gli elettrodi rivestiti al rutilo sono adatti a saldare acciai dolci.

Tipo di corrente

In c.c., con entrambe le polarità, e in c.a.

Questi elettrodi assicurano una buona stabilità all'arco.

Proprietà della scoria

Scoria di facile asportazione e ben rifusibile. Gli elettrodi rivestiti al rutilo possono essere a bagno più caldo, e allora la scoria si presenta più fluida e di più facile asportazione, oppure a bagno più freddo, e in questo caso la scoria appare più densa e viscosa.

Elettrodi a rivestimento ossidante

Il rivestimento è detto ossidante perché contiene in quantità preponderante (dal 50 al 70%) ossido di ferro sotto forma di magnetite e oligisto. Tali sostanze tendono a ossidare il bagno di fusione.

Sono elettrodi molto economici e di facile uso, ma sono adatti solo per saldature in piano.

Grazie al forte contenuto di ossidi, sono dotati di un rendimento molto elevato e un innescamento molto rapido: l'arco si innesca al primo contatto dell'elettrodo col pezzo.

Per questa caratteristica sono particolarmente adatti alle saldature di serramenti, di piccoli pezzi e per lavori correnti.

Le proprietà meccaniche del cordone sono assai scarse.

Componenti

Ossido di ferro sotto forma di magnetite e oligisto dal 50 al 70%. Oltre all'ossido di ferro contengono solo scorificante siliceo, sotto forma di quarzo, fosfati e caolino.

Facilità di maneggio

Molto buona.

Il bagno è molto fluido e per questo motivo gli elettrodi sono adatti solo per saldature in piano.

Azione depurante

Nulla.

Sviluppo di idrogeno

Assai scarso, perché il rivestimento non è igroscopico.

Tipo di corrente

c.c., con la polarità normale, e c.a.

Proprietà della scoria

Di facile asportazione.

Rendimento degli elettrodi

Si intende per rendimento di un elettrodo il rapporto fra il peso P_1 del metallo deposto e il peso P dell'anima dell'elettrodo, espresso in percentuale.

Il rendimento R è quindi dato dalla formula:

$$R = \frac{P_1}{P} \cdot 100.$$

Il rendimento di un elettrodo normale varia fra l'80 e il 95%. Questo perché una parte del materiale depositato volatilizza all'elevata temperatura dell'arco e si disperde nell'ambiente.

In pratica, per calcolare il rendimento di un elettrodo si deve:

- conoscere il peso dell'elettrodo privo del rivestimento (peso P dell'anima dell'elettrodo);
- pesare il pezzo prima e dopo la saldatura, ottenendo per differenza il peso D del materiale deposto;
- calcolare il peso M del mozzicone avanzato da sottrarre al peso P dell'anima intera;
- calcolare infine il rendimento come rapporto fra il peso D del materiale deposto e il peso dell'anima effettivamente fusa, secondo la formula:

$$R = \frac{D}{P - M} \cdot 100.$$

Esempio

Si prende una piastra A del peso di 2.000 g, e tre elettrodi B del peso, escluso il rivestimento, di 100 g ciascuno. Si bruciano i tre elettrodi sulla piastra. Se dopo la saldatura la piastra viene a pesare 2.200 g il deposito D risulta:

$$2.200 - 2.000 = 200 \text{ g.}$$

Si pesano poi i tre mozziconi di elettrodo rimasti, che danno un peso complessivo, escluso il rivestimento, di 40 g.

Il peso P_1 del ferro effettivamente impiegato nella saldatura è dato dal peso dell'anima dei tre elettrodi meno il peso dei tre mozziconi:

$$P_1 = 300 - 40 = 260 \text{ g.}$$

Il rendimento in questo caso è:

$$R = \frac{200}{260} \cdot 100 = 77\%.$$

Elettrodi a elevato rendimento

Sono elettrodi al rutilo o basici o neutri, che però contengono nel rivestimento minerali di ferro, oltre ai soliti elementi.

Nel bagno di fusione tali minerali di ferro vanno ad aggiungersi al metallo d'apporto fornito dall'anima dell'elettrodo, aumentando la quantità di metallo deposto.

Il metallo contenuto nel rivestimento permette a questi elettrodi di ottenere un rendimento superiore al 100%, che può arrivare fino al 160%.

La polvere di ferro contenuta negli elettrodi a elevato rendimento permette di ridurre la corrente necessaria alla fusione del metallo d'apporto.

Anche l'innesco risulta più facile perché si ottiene col semplice strisciamento del rivestimento sul pezzo da saldare.

Gli elettrodi a elevato rendimento sono impiegati per la saldatura sia in piano che in angolo.

Poiché permettono una forma di penetrazione più profonda al centro e più lieve alle estremità, sono particolarmente adatti per la saldatura in angolo.

Elettrodi a forte penetrazione

Si definiscono a forte penetrazione quegli elettrodi che sono in grado di saldare a penetrazione totale uno spessore pari al diametro dell'elettrodo più due millimetri.

Per esempio, un elettrodo di $\varnothing 4$ mm dovrebbe avere una penetrazione di $4 + 2 = 6$ mm, per essere classificato a forte penetrazione.

Il rivestimento di questi elettrodi è in genere al rutilo con una percentuale di cellulosa.

Tale rivestimento permette di raggiungere elevate tensioni e forti concentrazioni d'arco, così da garantire una penetrazione quasi doppia rispetto a quella normale.

Con questi elettrodi è però difficile ottenere un cordone costante e omogeneo.

La forte penetrazione di questi elettrodi permette la saldatura testa a testa di spessori di acciaio fino a 5 mm, senza lo smusso di preparazione.

Gli elettrodi a forte penetrazione sono sconsigliati per la saldatura di lamiere che contengono impurità.

Scelta dell'elettrodo

Sono numerosi i fattori che bisogna considerare nello scegliere il tipo di elettrodo più adatto alla saldatura da seguire.

I principali sono:

- le caratteristiche del metallo base;
- lo spessore dei pezzi da unire;
- la saldatrice a disposizione (a c.a. o a c.c.);
- la posizione di saldatura;
- la forma del cordone che si vuole realizzare;
- la proprietà della scoria;
- il grado di resistenza che deve presentare il giunto saldato ecc.

Non sempre è possibile avere a disposizione gli elettrodi più adatti per ogni tipo di lavorazione, bisogna quindi scegliere quelli che presentano caratteristiche che si avvicinano maggiormente a quelle ideali.

In ogni caso, scelto un tipo di elettrodo e verificato che la scorta sia sufficiente a completare il lavoro in corso, è indispensabile attenersi alle istruzioni della ditta costruttrice, così da sfruttare appieno le sue proprietà.

In particolare, ogni tipo di elettrodo richiede un'intensità di corrente adeguata, che dipende soprattutto dal suo diametro.

Gli elettrodi possono essere di diverse lunghezze. Generalmente oltre il $\varnothing 3,25$ presentano lunghezza di 450 mm.

Aldisotto del $\varnothing 3,25$ vengono usati elettrodi lunghi 300 mm.

Con la lunghezza di 300 mm l'elettrodo è più maneggevole, però deve essere cambiato più frequentemente.

Scelta del diametro dell'elettrodo

La scelta del diametro dell'elettrodo dipende principalmente dallo spessore dei pezzi da unire e dal tipo di preparazione dei lembi.

In generale maggiore è lo spessore da saldare, maggiore dovrà essere il diametro dell'elettrodo.

Se però i lembi sono, per esempio, preparati a V, e la saldatura deve essere eseguita in più passate, converrà usare per la prima passata un elettrodo di diametro minore, che assicuri una buona penetrazione al vertice, e un elettrodo più spesso per le passate successive.

Gli elettrodi più facilmente reperibili in commercio hanno il diametro dell'anima che varia da 2 a 6 mm.

I più usati sono quelli aventi diametri 2,5 - 3,25 - 4 - 5 mm.

Scelta dell'intensità di corrente

L'intensità di corrente deve essere regolata di volta in volta, a seconda del diametro dell'elettrodo impiegato.

Allo scopo, tutte le saldatrici sono dotate di dispositivi per la regolazione della corrente.

La regolazione può essere a gradini, con una serie di prese a ognuna delle quali corrisponde un certo valore dell'intensità di corrente.

Oppure la regolazione è continua e viene realizzata mediante manopole o volantini.

Talvolta le saldatrici possiedono più di un organo di regolazione (per es. regolazione grossolana e regolazione fine).

In genere, per ogni tipo di elettrodo e per ogni diametro, il costruttore stabilisce i limiti inferiore e superiore entro i quali va mantenuta l'intensità di corrente.

Nella **tabella 1** sono riportati i valori minimi e massimi di intensità di corrente, a seconda del diametro dell'elettrodo, sia per gli elettrodi a rivestimento acido sia per quelli a rivestimento basico.

In generale il valore della corrente deve essere circa $40 \div 50$ A per ogni mm di diametro dell'elettrodo.

Tabella 1

Valori di corrente in funzione del diametro dell'elettrodo.

Diametro elettrodo (mm)	Intensità di corrente (A)	
	Rivestimento acido	Rivestimento basico
1	40 - 50	40 - 50
1,50	50 - 60	50 - 60
2	60 - 85	60 - 80
2,5	80 - 120	80 - 100
3,25	110 - 160	100 - 150
4	150 - 220	140 - 200
5	190 - 300	200 - 260
6	250 - 380	220 - 320

L'uso di un'adeguata intensità di corrente è fondamentale per la buona riuscita di una saldatura.

Un'intensità di corrente esagerata provoca una eccessiva fusione del metallo base con pericoli di sfondamento; il deposito di materiale risulta eccedente; ai lati del cordone possono prodursi incisioni marginali ecc.

Con un'intensità di corrente troppo bassa si riduce la penetrazione; il deposito risulta scarso; l'insufficiente fusione del metallo base favorisce le incollature ecc.

All'interno dei limiti consigliati, il valore corretto dell'intensità di corrente verrà fissato dall'operatore tenendo conto dello spessore della lamiera, della posizione di saldatura, del tipo di preparazione dei lembi ecc.

Per esempio, i valori più bassi delle intensità di corrente consigliate per un dato diametro dell'elettrodo potranno essere adottati per spessori limitati, oppure, a parità di spessore, nel caso di saldature in posizione o quando i lembi sono preparati con smussi a V o a X.

Per spessori maggiori, oppure, a parità di spessore, per saldature in piano o con giunti a lembi dritti, è necessario adottare i valori più alti delle intensità di corrente consigliate per un dato diametro dell'elettrodo.