



Numero 8/2019

I rischi lavorativi nella saldatura (1)

Si ricorda che con il termine **saldatura** (e processi correlati) “si intende l'unione, la separazione o il rivestimento di materiali di base metallici o termoplastici sotto l'azione del calore o della pressione, con o senza apporto di materiale (elettrodi a filo o a bacchetta, metalli o leghe per il riempimento del giunto saldato, ecc.)”. E il calore “è generato da una fiamma ossidrica o una corrente elettrica (arco voltaico)”.

Complessivamente esistono circa 140 processi di saldatura normati.

Saldatura per pressione Nella saldatura per pressione i materiali metallici vengono uniti sotto pressione ed eventualmente con calore localmente limitato. La compressione sgretola lo strato di ossido superficiale mettendo a diretto contatto i due materiali di base sottostanti per consentire la giunzione tra i -metalli. Il calore è ottenuto facendo attraversare il punto di saldatura da una corrente elettrica (saldatura per resistenza) o mediante attrito dinamico (saldatura ad attrito). Generalmente non viene utilizzato alcun materiale di apporto. La saldatura per pressione genera solo poche emissioni. Il procedimento più noto della saldatura per resistenza è la saldatura per punti.

Saldatura per fusione Nel processo di saldatura per fusione i punti di contatto dei materiali di base da unire vengono scaldati sino al punto di fusione per sgretolare lo strato di ossido superficiale così da consentire la giunzione tra i metalli. Generalmente si aggiunge un materiale metallico compatibile con i metalli di base (detto materiale di apporto) che, portato a fusione, serve per riempire il giunto saldato. Il materiale di apporto contiene spesso materiali di consumo, come fondenti, formatori di scoria e stabilizzatori dell'arco elettrico. I fondenti eliminano lo strato di ossido superficiale attraverso una reazione chimica. A seconda della sorgente termica utilizzata si distinguono tre procedimenti di saldatura per fusione.

- Saldatura a gas = saldatura autogena od ossiacetilenica La sorgente termica è una fiamma alimentata da una miscela di ossigeno e gas combustibile. Il gas più comune è l'acetilene, ma viene utilizzato anche gas naturale, propano, idrogeno, ecc. Si raggiungono temperature attorno

ai 3000°C. La saldatura per fusione a gas è uno dei procedimenti di saldatura più antichi, ma è anche pericoloso e comporta costi ingenti, per cui si tende a sostituirlo con metodi più moderni.

- Saldatura ad arco elettrico In questo procedimento di saldatura si utilizza come sorgente termica un arco elettrico fatto scoccare fra l'elettrodo consumabile e il materiale di base. L'arco elettrico produce temperature che raggiungono i 5000°C. Durante la saldatura, la fusione del materiale di apporto e la combustione del rivestimento dell'elettrodo danno origine a emissioni potenzialmente dannose. I componenti principali di queste emissioni sono ossidi di Fe, K, Si, Ca, Cr(VI), Mg, Ba, Ti e Fl. La saldatura ad arco elettrico è la procedura che genera le maggiori emissioni. Esistono diverse forme di saldatura ad arco elettrico.

1) Saldatura ad arco con elettrodo rivestito È un procedimento manuale di saldatura in cui si utilizzano come materiale di apporto degli elettrodi a bacchetta. Gli elettrodi sono generalmente dotati di un rivestimento costituito da materiali inerti di consumo. Una volta innescato l'arco inizia la progressiva fusione dell'elettrodo con riversamento del metallo fuso nella zona del giunto. Una parte delle sostanze si disperde nell'aria sotto forma di fumi, che in questo procedimento di saldatura raggiungono tassi di emissione elevati.

2) Saldatura in atmosfera protettiva In questo procedimento di saldatura un flusso di gas avvolge l'arco elettrico e protegge il bagno di saldatura dall'azione ossidante dell'ossigeno presente nell'aria. In alcuni casi questo permette di non dover rivestire l'elettrodo con una conseguente netta riduzione dei fumi di saldatura. Esempi:

- saldatura di metalli con elettrodo a filo continuo in atmosfera attiva (MAG); gas protettivo: ad es. CO₂(→CO)

- saldatura di metalli con elettrodo a filo continuo in atmosfera inerte (MIG); gas protettivo: argon, elio

- Saldatura ad arco con elettrodo di tungsteno in atmosfera inerte (TIG); l'elettrodo di tungsteno non fonde

Saldatura ad arco sommerso

Saldatura al plasma

Saldatura al laser Questo procedimento di saldatura utilizza come sorgente termica un raggio laser. Il fascio viene concentrato tramite un sistema ottico sul giunto da saldare, dove il metallo inizia a fondere. Il diametro della macchia focale è di soli pochi decimi di millimetro e la temperatura

supera in brevissimo quella di fusione della lega. Come protezione dall'ossidazione si utilizza l'argon.

Brasatura Nel processo di brasatura il collegamento dei pezzi in lavorazione avviene per infiltrazione di una lega metallica portata a fusione (materiale di apporto). Nella brasatura dolce il materiale di apporto è una lega di stagno, zinco, antimonio e piombo (vietato dal 2006 nell'UE come elemento di lega), mentre nella brasatura forte si utilizza l'argento o il rame.

Oltre a ciò possono essere utilizzati fondenti (ad es. colofonia, cloruro di zinco) e/o gas di protezione. Dato che il punto di fusione della lega di apporto è inferiore a quella del materiale di base, quest'ultimo non fonde, ma si porta solo a una temperatura cosiddetta di «bagnabilità». I fumi della brasatura dipendono dai fondenti e dalle leghe utilizzate.

Principali sostanze pericolose per la salute e disturbi correlati A seconda del procedimento utilizzato, durante la saldatura si liberano fumi, polveri, vapori e gas contenenti diverse sostanze. Complessivamente nei fumi e nei gas si trovano circa 40 sostanze chimiche.

Gas e vapori originano dai gas combustibili e protettivi, dall'aria, dai materiali di rivestimento o dalle impurità. Esempi di sostanze nocive gassose:

- Acetilene (C_2H_2): è utilizzato soprattutto nella saldatura a gas (autogena od ossiacetilenica).
- Ozono (O_3): si forma a partire dall'ossigeno presente nell'aria (O_2) con la radiazione UV dell'arco elettrico e della fiamma di saldatura; è presente nei procedimenti a bassa emissione di fumi (TIG).
- Monossido di carbonio (CO): si forma per riduzione del CO_2 utilizzato come gas protettivo nella saldatura MAG.
- Ossidi di azoto (= gas nitrosi, NO_x): si formano dall'ossidazione dell'azoto nell'aria in presenza di una fiamma aperta.
- Fosgene ($COCl_2$): si forma dall'interazione tra idrocarburi clorurati e i raggi UV della fiamma di saldatura. Gli idrocarburi clorurati sono solventi impiegati per lo sgrassaggio dei pezzi in lavorazione.
- Aldeidi.

Polveri e fumi di saldatura originano per il 95% dai materiali di apporto e di consumo (elettrodi a filo o a bacchetta, leghe per brasatura, polvere per saldatura, fondenti, ecc.) e per il restante 5% dal materiale di base. I fumi metallici si formano da un lato per condensazione e ossidazione della fase vapore dei metalli, dall'altro per combustione incompleta di sostanze organiche come i materiali di

apporto o i rivestimenti. Oltre gli ossidi metallici si formano anche fluoruri metallici e cloruri metallici.

Il carico delle polveri nella saldatura dipende da fattori specifici per procedimento e materiale: la saldatura ad arco con elettrodo rivestito mostra il più alto tasso di emissione di tutti i procedimenti di saldatura, la saldatura TIG e quella al plasma mostrano il livello più basso di liberazione di fumi. Le singole particelle nella saldatura, nel taglio e nella brasatura hanno in genere un diametro da 0.01 a 1 μm e pertanto possono raggiungere gli alveoli (frazione alveolare della polvere: avente per il 50% un taglio dimensionale di 4 μm [EN 481]). I saldatori, rispetto ad altri gruppi professionali, sono più fortemente esposti a tali particelle, in particolare quelle con diametro <0,1 μm (particelle ultrafini). Le particelle, solitamente, sono più piccole nei lavori di saldatura rispetto a quelli di taglio. Un'eccezione è rappresentata dai procedimenti di taglio con laser nei quali si formano soprattutto particelle ultrafini. Una piccola parte dei fumi di saldatura è composta, in forma agglomerata, dalla frazione di polvere inalabile (avente per il 50% un taglio dimensionale di 100 μm). Gli agglomerati di particelle più grandi si formano nella saldatura e spruzzatura termica.

Sostanza (ossido derivato)	Disturbi di salute più importanti
Alluminio	Alluminosi
Piombo	Tossicità relativa a sangue, sistema nervoso, reni, apparato digerente e riproduttivo
Cadmio	Lesioni polmonari e renali, polmonite tossica (cancro del polmone?)
Cromo (III)	Irritazione delle mucose
Cromo (VI)	Tumori del naso, cancro del polmone, sensibilizzazione (dermatite)
Cobalto	Sensibilizzazione (asma, eczema)
Isocianati	Asma
Rame	Febbre da inalazione di fumi metallici, irritazione delle vie aeree
Fluoro	Irritazione (fluorosi, lesioni renali)
Ferro	Siderosi (polmone del saldatore), siderofibrosi
Monossido di carbonio	Sintomi a livello del SNC, asfissia, sintomi cardiovascolari
Magnesio	Febbre da inalazione di fumi metallici
Manganese	Parkinsonismo (manganismo), febbre da inalazione di fumi metallici, bronchite
Molibdeno	Irritazione delle vie aeree
Nichel	Sensibilizzazione, cancro delle vie aeree
Ozono	Irritazione delle vie aeree
Fosgene	Irritazione delle vie aeree, edema polmonare
Ossidi di azoto (= gas nitrosi)	Irritazione delle vie aeree, bronchiolite, edema polmonare
Vanadio	Irritazione delle vie aeree
Zinco	Febbre da inalazione di fumi metallici, neurotossicità
Stagno	Stannosi, neurotossicità

Alluminio Gli ossidi di alluminio si formano nei processi di saldatura di materiali di base e di apporto contenenti alluminio. Dopo un'esposizione a concentrazioni elevate per molti mesi o anni a fumi di saldatura contenenti alluminio si può sviluppare una pneumoconiosi (detta alluminosi) senza partecipazione dei linfonodi e senza formazione di granulomi. L'alluminosi colpisce soprattutto i campi polmonari superiori e medi. Per la diagnosi precoce dell'alluminosi si ricorre alla HRCT, in quanto gli esami radiologici convenzionali permettono di evidenziare solo alterazioni avanzate. Nelle sperimentazioni sugli animali l'alluminio si è dimostrato neurotossico, portando alla d-posizione dei cosiddetti «neurofibrillary tangles» nei neuroni. Questi ammassi neurofibrillari di proteina tau compaiono anche nella malattia di Alzheimer. Non esistono tuttavia evidenze riguardo al ruolo causale dell'alluminio in questa forma di demenza]. Sembra invece esserci una relazione tra valori elevati di alluminio nell'urina e disturbi cognitivi.. Dato che l'alluminio ha un'emivita nel

corpo dell'ordine di mesi e anni, il modo migliore per valutare l'esposizione interna per i lavoratori è con la determinazione dell'alluminio nell'urina nell'ambito del monitoraggio biologico.

Piombo Un tempo si utilizzavano vernici e lacche contenenti piombo, oggi proibite. Per contro, nella brasatura vengono ancora in parte utilizzate leghe contenenti piombo. L'inalazione di fumi di piombo causa disturbi in diversi sistemi organici. Se viene colpito il sistema nervoso centrale, si possono manifestare i sintomi di una sindrome neurastenica identificabili in debolezza, affaticamento, problemi di concentrazione, ecc. In questo caso, tuttavia, sono necessarie esposizioni elevate per tempi lunghi che oggi non si verificano praticamente più, soprattutto nella saldatura. Se perdura l'esposizione possono comparire anche disturbi al sistema nervoso periferico. Un esempio noto di questa intossicazione è la mano cadente nel saturnismo. Altri quadri clinici sono le anemie con colorazione basofila degli eritrociti, alterazioni del metabolismo delle porfirine con aumento di acido delta-aminolevulinico e coproporfirina nell'urina o alterazioni funzionali tubulari renali con microproteinuria e alterazioni del sistema riproduttivi.

Il modo migliore per valutare l'esposizione al piombo per i saldatori è con la determinazione dei livelli di piombo nel sangue, tenendo presente che per le donne in età fertile vanno applicati valori inferiori rispetto a quelli per gli uomini e per le donne più anziane.

Cadmio Un tempo il cadmio era un componente di alcune leghe per la brasatura, vernici e lacche; oggi le esposizioni al cadmio si possono verificare durante la saldatura e il taglio di materiali con placature superficiali al cadmio. La tossicità dipende dal tipo di composto del cadmio. Il cloruro, l'ossido e il carbonato di cadmio sono più tossici del solfuro di cadmio. Un'esposizione ai fumi di cadmio nella saldatura può causare febbre da inalazione di fumi metallici e irritazioni polmonari a decorso grave con edema. In caso di esposizione al cadmio di lunga durata si possono sviluppare riniti atrofiche e lesioni polmonari ostruttive. Il cadmio può inoltre alterare la funzione tubulare.

Dato che il cadmio viene assorbito dalla pelle, è opportuno considerare un monitoraggio biologico con determinazione del cadmio nell'urina.

Cromo Dal punto di vista di medicina del lavoro sono rilevanti i composti di cromo trivalente ed esavalente; il cromo metallico è difficilmente solubile e biologicamente inattivo. Nei fumi di saldatura sono presenti composti di cromo trivalente Cr (III), soprattutto nei procedimenti MAG con fili alto legati. I composti di cromo trivalente sono corrosivi e possono causare ulcerazioni croniche del setto nasale e della cute; possono inoltre scatenare reazioni cutanee allergiche di tipo IV o asma (fatta eccezione per l'ossido di Cr (III) e i composti Cr (III) difficilmente solubili). I più importanti composti di cromo esavalente Cr (VI) nella saldatura sono il triossido di cromo CrO₃ e i

cromati CrO₄²⁻. I cromati si sviluppano soprattutto nella saldatura manuale ad arco con elettrodo rivestito degli acciai alto legati al cromo-nichel e nella saldatura in atmosfera protettiva con fili alto legati [DGUV]. Nel taglio al plasma ad aria compressa, nel taglio laser di acciai alto legati al cromo-nichel e nella spruzzatura termica con additivi ad alto contenuto di cromo si forma soprattutto triossido di cromo. I composti Cr (VI) sono sensibilizzanti e penetrano attraverso la cute (ad eccezione del cromato di bario e di piombo). Tenuto conto della possibilità di assorbimento dei composti Cr(VI) attraverso la pelle e l'apparato digerente si raccomanda un monitoraggio biologico in aggiunta alle misurazioni delle concentrazioni.

I composti del cromo sei aumentano il rischio di cancro del polmone e di cancro delle cavità nasali e dei seni paranasali, come osservato in particolare nei lavoratori addetti alla galvanizzazione e alla cromatura, nonché alla produzione di cromati e pigmenti cromati.

Cobalto Il cobalto è utilizzato come legante nella matrice dei metalli duri. Nella produzione e lavorazione dei metalli duri si possono riscontrare casi di edemi polmonari, le alveoliti fibrosanti e fibrosi polmonare, non però nella saldatura. Il cobalto e i suoi composti sono sensibilizzanti e possono causare eczemi allergici da contatto, orticaria e asma. Nella sperimentazione sui roditori il cobalto ha provocato il cancro

Il cobalto è inoltre una sostanza di cui si presume una tossicità per la riproduzione. Dato che i composti di cobalto solubile e probabilmente anche il cobalto metallico possono essere assorbiti dalla pelle, si raccomanda un monitoraggio biologico in aggiunta al monitoraggio dell'aria.

Tutta la documentazione citata può essere richiesta alla Consulenza Medico-Legale Nazionale via e-mail all'indirizzo m.bottazzi@inca.it