

Il valore netto del processo di saldatura di metalli a ultrasuoni

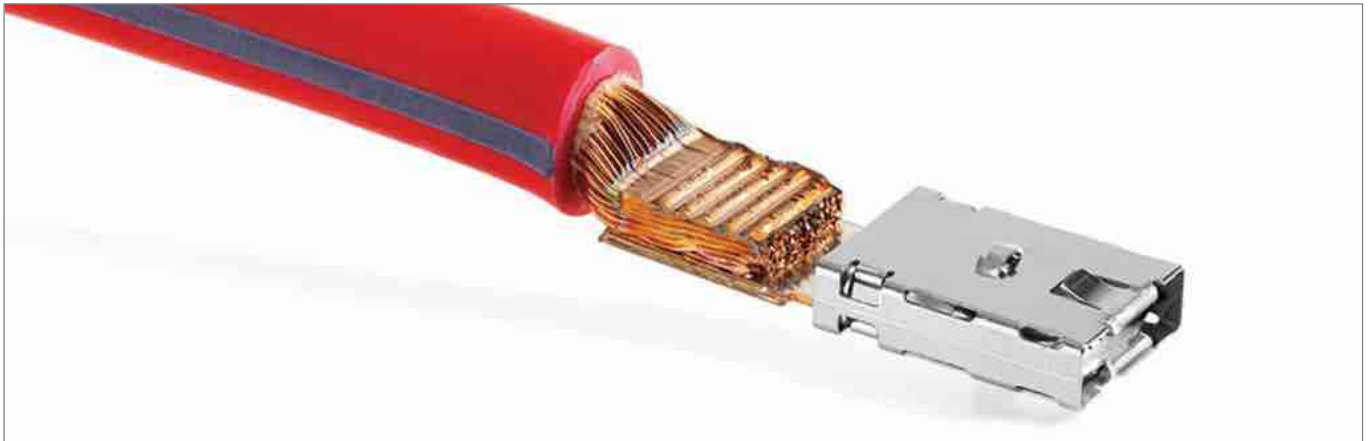
SALDATURA PLASTICA

SALDATURA METALLI

TAGLIO

PULIZIA

VAGLIATURA



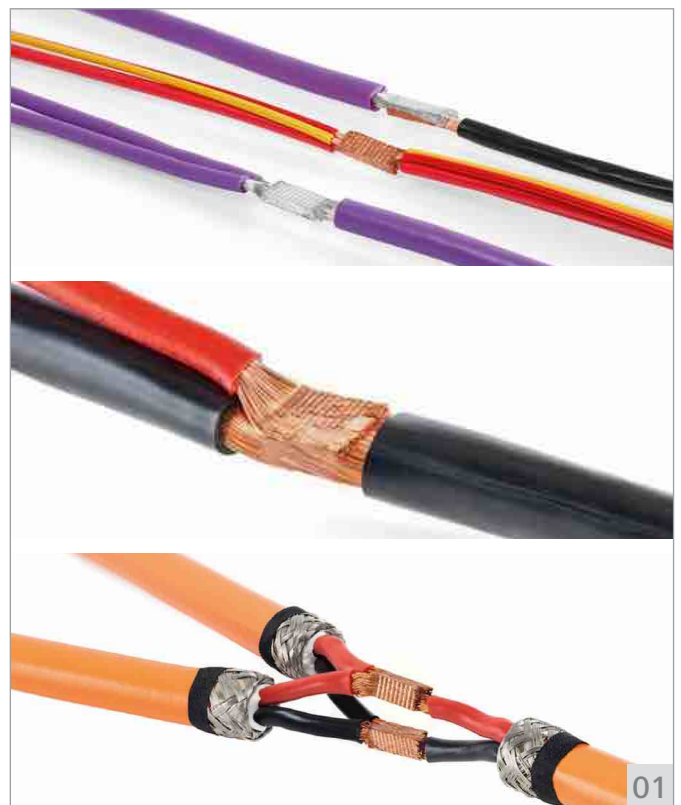
Bronschhofen (CH), 08/2023

Ci sono molti fattori da considerare per la scelta di un metodo di giunzione del metallo, tra cui le sue caratteristiche tangibili e intangibili. A seconda dell'applicazione, l'investimento varierà in base al design della giunzione, ai materiali da saldare, alle forme geometriche, alle dimensioni e alle misure, agli effetti ambientali e all'integrità meccanica ed elettrica richiesta da un determinato prodotto. Non è possibile affrontare tutte le applicazioni di giunzione in un unico articolo, quindi metteremo in evidenza l'industria dei fasci di cavi e dei prodotti automobilistici per chiarire le differenze tra crimpatura, saldatura a ultrasuoni, a laser e a resistenza.

In alcuni casi, la saldatura a ultrasuoni è l'unica soluzione o potrebbe non essere affatto fattibile. Tuttavia, a prescindere da quante variabili vengano considerate nella scelta del metodo di giunzione, la saldatura a ultrasuoni sembra offrire un migliore ritorno sull'investimento a lungo termine rispetto a tutti gli altri processi possibili.

L'investimento iniziale nelle apparecchiature per la saldatura di metalli a ultrasuoni è più elevato rispetto ad altri processi di saldatura, come la saldatura a resistenza, la crimpatura e la giunzione meccanica, tuttavia è inferiore rispetto a quello richiesto per apparecchiature per la saldatura a laser. Allora, perché questa tecnologia ha dominato la produzione dei fasci di cavi metallici ed è diventata una necessità per le batterie di veicoli elettrici, ibridi elettrici e per la distribuzione elettrica? La saldatura a ultrasuoni di metalli non ferrosi è una tecnologia collaudata da decenni. Tuttavia, dall'inizio degli anni '80, la saldatura di metalli a ultrasuoni ha dominato l'industria automobilistica, con i produttori di fasci di cavi per autoveicoli che sono i maggiori utilizzatori di questa tecnologia (Figura 1). Grazie alla sua efficienza e alla qualità imbattibile, la saldatura a ultrasuoni ha sostituito la crimpatura meccanica e la saldatura a resistenza per tutti i marchi automobilistici quasi subito dopo la sua nascita. L'utilizzo della saldatura a ultrasuoni per i fasci di cavi per autoveicoli ha registrato una crescita ancora più rapida nell'ultimo decennio, a causa dell'aumento dei veicoli a propulsione elettrica (EV). L'innovativa tecnica di

saldatura torsionale di Telsonic, che ha cambiato il settore, ha contribuito in gran parte a questa rapida crescita, grazie alla sua capacità impareggiabile di affrontare sfide come le dimensioni della saldatura, la saldatura in aree più piccole, le forme geometriche, il raggiungimento dell'area di saldatura, l'orientamento della saldatura e gli effetti delle oscillazioni sui componenti periferici.



01 Applicazioni convenzionali di saldatura a ultrasuoni per i fasci di cavi automobilistici

Un fascio di cavi medio contiene 180 nodi e questo numero cresce con ogni anno di modello del veicolo. Gli OEM aggiungono sempre più funzioni elettroniche alle auto, che richiedono un maggior numero di nodi. I nodi e le terminazioni dei cavetti costituiscono un lungo e complesso cablaggio pesante che controlla l'intero sistema elettrico del veicolo. Il collegamento dei cavetti è sempre stata un'attività importante nella produzione di fasci di cavi, per via dell'intensità di lavoro intrinseca nella lavorazione dei fili. L'industria applica ancora la crimpatura o la saldatura a resistenza per applicazioni come la crimpatura di piccoli cavetti o il collegamento di cavetti in stagno. In generale, la saldatura a ultrasuoni non è fattibile per le parti stagnate o per i materiali duri come l'acciaio. È proprio in tali casi che diventano praticabili le opzioni di saldatura a resistenza o a laser. La saldatura a ultrasuoni è l'opzione migliore per saldare l'alluminio a un altro metallo non ferroso. Grazie alla sua natura di saldatura per fusione a freddo, l'alluminio viene saldato intensamente senza fondere o essere influenzato in modo significativo dal calore. I vantaggi della saldatura a ultrasuoni si manifestano nei materiali termicamente conduttivi, come l'alluminio, il rame e il magnesio, che possono essere difficili da saldare con le saldatrici a resistenza e i laser. Gli ultrasuoni sono molto utili anche per congiungere un materiale sottile con un materiale spesso. Se un requisito è il minimo disturbo delle proprietà del materiale dovuto al calore, gli ultrasuoni sono spesso il processo di saldatura migliore.

Il collegamento dei cavetti è un esempio eccellente per valutare alcuni dei processi di giunzione nella produzione odierna di fasci di cavi. I produttori hanno utilizzato il processo di crimpatura per molti anni prima che la saldatura diventasse un'opzione praticabile. Alcuni OEM utilizzavano semplicemente la clip per bordare i cavetti in un nodo. Alcuni aggiungevano l'immersione in un bagno di saldatura per garantire l'integrità elettrica. Questo comportava gli svantaggi dell'aggiunta di materiale (molte clip di dimensioni diverse), dello spazio necessario per le presse dedicate, della necessità di competenze di saldatura e

dell'impatto sui cavetti metallici a causa dello stress meccanico e del calore della clip e della saldatura. Pertanto, la saldatura dei cavetti diventò molto apprezzata, iniziando con la saldatura a resistenza e poi con la nascita della saldatura a ultrasuoni. La natura di fusione a freddo della saldatura di metalli a ultrasuoni, la sua capacità di eliminare l'ossidazione prima della saldatura, la congiunzione di metalli dissimili, il consumo energetico molto basso e la capacità di saldare nodi di varie dimensioni con una sola macchina e la stessa strumentazione universale, sono stati fattori determinanti che hanno reso il collegamento cavetti a ultrasuoni un processo accettabile a livello globale. Ci sono voluti diversi anni perché i produttori di fasci di cavi prendessero confidenza con il processo e adottassero la tecnologia. Alcuni sono passati dalla crimpatura alla saldatura a ultrasuoni, mentre altri hanno utilizzato la saldatura a resistenza prima di passare alla saldatura a ultrasuoni. Le apparecchiature per la saldatura a ultrasuoni offrono dei vantaggi rispetto ad altri metodi di giunzione che sono ancora validi attualmente.

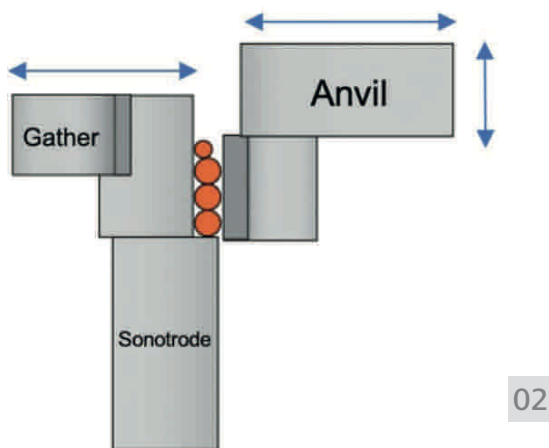
Nel corso dell'evoluzione della tecnologia di saldatura negli ultimi 30 anni, la qualità e l'affidabilità sono sempre stati i fattori decisivi. Il ritorno sull'investimento si è dimostrato evidente: i nodi saldati a ultrasuoni hanno garantito una maggiore durata dei veicoli. Oggi, la maggior parte delle caratteristiche della tabella di confronto sottostante (Tabella 1) sono applicabili ad altre applicazioni di saldatura di metalli, come i cavetti ai terminali, i terminali ai terminali e le sbarre collettrici.

Questa tabella di confronto mostra i vantaggi di ciascun processo e i costi operativi diretti e indiretti. Ci sono molti casi in cui un metodo di giunzione può essere chiaramente la scelta migliore o addirittura l'unica opzione. Si invita a prendere in considerazione le caratteristiche riportate nella tabella sottostante per la scelta tra più opzioni di giunzione.

Caratteristiche	Ultrasuoni	Resistenza	Crimpatura	Saldatura	Laser
Processo di saldatura a freddo	sì	no	no	no	no
Materiali di consumo necessari	no	no	sì	sì	no
Giunzione di materiali dissimili	sì	limitata	sì	limitata	limitata
Durata del collegamento	eccellente	buona	moderata	bassa	buona
Resistenza meccanica	alta	alta	moderata	bassa	moderata
Conducibilità elettrica	eccellente	buona	moderata	bassa	buona
Modifica della proprietà del materiale	invariata	cambiata	invariata	cambiata	cambiata
Consumo di energia	basso	alto	basso	moderato	moderato
Tempo di processo	breve	breve	breve	lungo	breve
Generazione di calore	bassa	alta	bassa	alta	alta
Influenza delle condizioni della superficie	moderata	moderata	sì	sì	sì
Controllo di qualità, costanza	alta	bassa	moderata	molto bassa	moderata
Sicurezza sul lavoro (vapori, scosse elettriche)	buona	bassa	buona	bassa	buona
Vita utensile	alta	bassa	alta	moderata	alta
È richiesto un operatore qualificato	no	no	no	sì	sì
Automazione semplice	limitata	limitata	buona	no	limitata
Requisiti di manutenzione	bassi	alti	bassi	bassi	alti

Il costo di funzionamento/manutenzione per ogni giunto deve essere convalidato contemporaneamente, ma attribuendo la massima priorità alla qualità. Ecco alcuni dei fattori che vengono considerati nella scelta di un metodo di giunzione:

- Investimento iniziale e volume
- Velocità di produzione
- Materiali di consumo
- Consumo elettrico – la saldatura a ultrasuoni richiede il 5% di quella a resistenza
- Infrastrutture aggiuntive come il raffreddamento ad acqua, la ventilazione e l'installazione di fonti di energia aggiuntive
- Spazio necessario per le apparecchiature
- Tempo di conversione
- Tempo di allestimento per ogni applicazione
- Durata della strumentazione e il loro effetto sulla qualità (Figura 02)



02

02 Strumentazione per il collegamento cavetti a ultrasuoni (normalmente oltre le 200.000 saldature)

Vantaggi della saldatura di metalli a ultrasuoni

- Il processo a bassa temperatura non influisce sulle proprietà del materiale
- Legame metallurgico puro per molti materiali non ferrosi
- Capacità di saldare materiali dissimili
- Assenza di materiali di consumo come clip di giunzione o saldature
- Processo ecologico
- Qualità della saldatura, proprietà meccaniche ed elettriche costanti
- Tempo di ciclo rapido
- Interfaccia uomo-macchina intuitiva
- Sicurezza dell'operatore, senza fumi o sostanze chimiche come il piombo

Il processo

Esistono due tipi di metodi di saldatura a ultrasuoni per il metallo e la plastica. La saldatura lineare è la tecnica più comune utilizzata dai produttori di apparecchiature e uno standard per il collegamento dei cavetti (Figura 3).

La saldatura torsionale, sviluppata da Telsonic, è entrata in scena oltre un decennio fa. La tecnica di saldatura torsionale può essere utilizzata per le applicazioni più comuni della saldatura lineare. Tuttavia, grazie alle sue capacità uniche, presenta alcuni vantaggi in termini di forme geometriche dell'applicazione e di delicatezza del processo, che portano a uno spettro di applicazioni più ampio sul mercato. In effetti, questa tecnologia è talvolta l'unica soluzione per i produttori di batterie per auto elettriche e per la terminazione dei cavi ad alta tensione (Figura 4). Altri esempi in cui la saldatura a ultrasuoni torsionale si rivela un metodo superiore sono le sbarre collettrici, i terminali 3D e i transistor bipolari a gate integrato (IGBT).

Tecniche di saldatura a ultrasuoni

Lineare

Collaudata per le applicazioni standard

Lineare

Processo di saldatura standard

Saldatura di metalli	Saldatura plastica
----------------------	--------------------

Torsionale

Nuove possibilità allargano i confini

Torsionale

SONIQTWIST®	PowerWheel®
Saldatura di metalli/ plastica	Saldatura di metalli

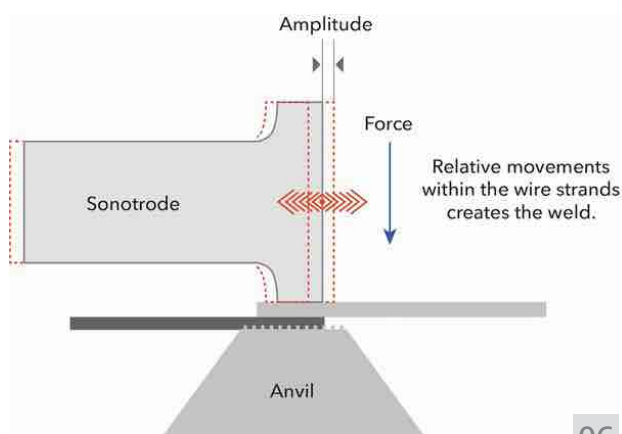
03 04 Esempi attuali di applicazioni con veicoli elettrici della saldatura a ultrasuoni



05 Esempi di applicazioni di saldatura a ultrasuoni per il settore automobilistico

Come funziona:

I cavetti sono impilati tra lo strumento vibrante/oscillante (sonotrodo) e il blocco dell'incudine. Vengono confinati in uno spazio predeterminato prima che venga applicata la forza statica attraverso l'incudine. Durante l'oscillazione, le superfici metalliche si riscaldano e si plastificano, dopodiché i trefoli si legano tra loro mescolandosi a livello molecolare (Figura 6). Il risultato è una saldatura continua con una struttura a grana fine come quella dei metalli lavorati a freddo. L'intero processo è molto rapido, con saldature completate in genere in una frazione di secondo. Le macchine di saldatura più comuni utilizzate oggi funzionano con una frequenza di oscillazione meccanica di 20 KHz. L'oscillazione sotto l'azione della forza dissipa eventuali contaminanti e avvia la saldatura a freddo per attrito fino al completamento del nodo. L'aumento di temperatura del materiale saldato è inferiore al 30% grazie alla forza di attrito sull'interfaccia di saldatura. Pertanto, non si verifica alcun indurimento del materiale del cavetto, che rende i trefoli fragili nell'area di transizione della saldatura. Questo è uno dei molti vantaggi rispetto alla saldatura a resistenza, che prevede la fusione del materiale per realizzare la goccia di saldatura.



06 L'oscillazione e il movimento che coinvolgono la saldatura lineare a ultrasuoni del metallo

Parametri e variabili di base della saldatura

Anche la saldatura a filo con gli ultrasuoni si è dimostrata di alta qualità e sicura nella pratica. Poiché i parametri di saldatura possono essere regolati e monitorati per ogni applicazione, ora è possibile in ambienti industriali 4.0.

Parametri di saldatura:

Oltre alle condizioni degli utensili di saldatura e alle dimensioni che sono sempre predeterminate, è necessario impostare quattro parametri di saldatura. Questi parametri sono normalmente stabiliti da un default dato dal controllore della macchina per iniziare la qualificazione della qualità della saldatura.

- Larghezza della saldatura: impostata dalla macchina
- Energia di saldatura: il numero fisso di watt secondi da erogare per completare la saldatura
- Ampiezza: l'oscillazione che può essere regolata fino al 100% della capacità del sonotrodo
- Impostazione della forza-pressione: per impostare la forza di saldatura

Variabili di qualità:

Per controllare il processo e ottenere la migliore qualità durante la saldatura con energia fissa, le seguenti variabili vengono misurate e confrontate con i limiti superiori e inferiori consentiti che vengono determinati dalla macchina o dall'utente.

- Tempo di saldatura (durata della saldatura)
- Altezza di compressione prima dell'avvio degli ultrasuoni
- Altezza finale della saldatura
- Energia consumata

Produzione stabile e integrità dei dati

La saldatura di metalli a ultrasuoni è un processo cruciale per tutti gli aspetti dei gruppi di fasci di cavi, grazie alla sua capacità di fornire un legame affidabile per soddisfare tutte le caratteristiche di bassa e alta corrente. Pertanto, singole aziende hanno preparato alcuni standard e specifiche.

USCAR 45 e 38 per il collegamento e la terminazione dei cavetti a ultrasuoni sono alcuni esempi, oltre ad altre specifiche che possono essere applicate alla maggior parte dei prodotti industriali sul mercato. La tabella seguente è un riassunto delle linee guida sulla qualità della saldatura a ultrasuoni.

Saldatura di metalli a ultrasuoni – Linee guida sulla qualità

The manual is divided into several key sections:

- Empalme de cables por ultrasonidos:** Shows various splicing techniques for different cable types and sizes, with green checkmarks for correct methods and red X's for incorrect ones.
- Terminación de cables por ultrasonidos:** Provides detailed instructions and diagrams for terminating cables into various connectors and terminals.
- DIRECTRIZ DE CALIDAD DE LA SOLDADURA:** Offers guidelines for ensuring the quality and consistency of the welds.
- MÉTODOS Y VALORES DE LA PRUEBA DE TENSIÓN:** Details the procedures and acceptable values for tension testing the welded joints.
- ESPECIFICACIONES DEL CABLE:** A detailed table listing cable specifications, including wire gauge, length, and material requirements.
- GUÍA DE HILOS ROTOS:** A guide for identifying and handling broken wires during the welding process.

07 Linee guida sulla qualità nella saldatura di metalli a ultrasuoni

Scaricare il grafico precedente dal sito web di Telsonic inserendo il termine "Telsonic downloads" nel proprio browser web.

Linee guida per la valutazione della qualità delle applicazioni di collegamento e terminazione dei cavetti a ultrasuoni, compresi i requisiti di forza di trazione e di spellatura e le specifiche dei fili per i cavi metrici SAE AWG e ISO.

Nell'odierno rapido sviluppo delle batterie dei veicoli elettrici e dei sistemi di collegamento ad alta tensione, è necessaria una risposta tempestiva con una soluzione di giunzione solida. Gli ingegneri di prodotto devono selezionare la tecnica di giunzione durante la fase di progettazione e sviluppo. Ciò richiederà la comunicazione tra i fornitori di soluzioni di saldatura e i progettisti di prodotti per accelerare il processo e avere tutta la strumentazione pronta per la prototipazione e il test iniziale del prodotto.

Man mano che la conoscenza della saldatura a ultrasuoni cresce, vengono progettate più applicazioni per lavorare con le sue attuali capacità. In ogni caso, se non hai ancora familiarità con questa tecnologia, ci auguriamo che questo articolo possa aiutarti a comprendere meglio alcuni dei principi fondamentali delle tecnologie di saldatura e chiarisca le potenziali opportunità finanziarie disponibili nell'industria automobilistica e in altri settori. Ci sono molti fattori da considerare per scegliere il metodo di giunzione più appropriato, prima che il vostro progetto venga finalizzato. Le informazioni contenute in questo articolo dovrebbero fornire un buon punto di partenza.

Di Saeed Mogadam, Comitato consultivo, Telsonic Solutions LLC.