

Saldatura di metalli a ultrasuoni

Un approfondimento su questa tecnologia flessibile e potente

SALDATURA PLASTICA

SALDATURA METALLI

TAGLIO

PULIZIA

VAGLIATURA



North Billerica (USA), 11/2022

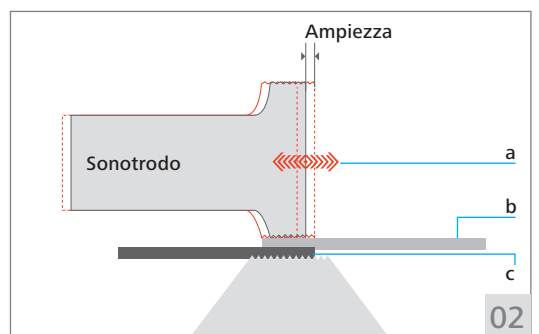
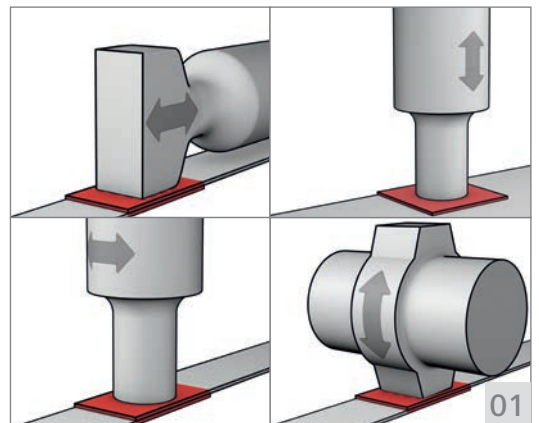
Essendo una tecnologia che da decenni viene ampiamente utilizzata per le applicazioni di saldatura e giunzione in diversi settori industriali, è naturale che la tecnologia a ultrasuoni stia rapidamente diventando il processo preferito per le applicazioni di saldatura dei metalli su molti dei componenti dei connettori e dei cablaggi prodotti per i veicoli ibridi e completamente elettrici. Con un'attenzione sempre maggiore all'uso degli ultrasuoni per le applicazioni di saldatura dei metalli, Greg Ruscak, Applications Manager di Telsonic a Boston, illustra in questo articolo informativo i principi, i metodi, i vantaggi e, soprattutto, i fattori che influenzano la qualità della saldatura.

Panoramica della tecnologia in sintesi

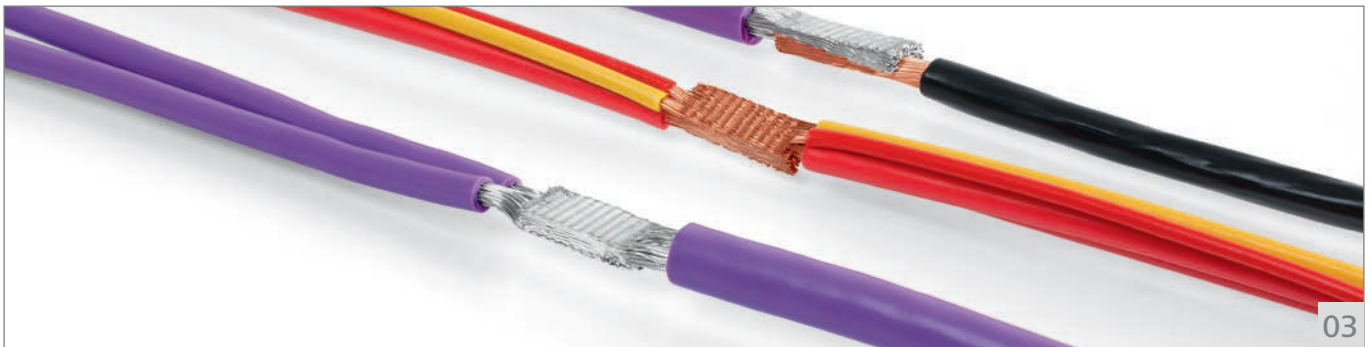
Telsonic ha sviluppato quattro diversi processi di saldatura a ultrasuoni, due lineari e due torsionali, che possono essere applicati a un'ampia gamma di applicazioni di saldatura plastica e dei metalli. I processi lineari vengono eseguiti in orizzontale o in verticale, mentre i processi torsionali, unici di Telsonic, sono noti come SONIQTWIST® e PowerWheel®.

È importante comprendere i principi di ciascuno dei diversi processi e identificare i vantaggi che ciascun processo apporta. Il diagramma sottostante illustra i principi di base del processo di saldatura lineare. Mentre il sonotrodo si muove avanti e indietro, una volta definita l'ampiezza, la parte da saldare si muove anche sulla parte inferiore, che viene bloccata rigidamente nell'incudine.

Il termine 'ampiezza' descrive l'estensione dell'espansione e della contrazione longitudinale del sonotrodo. L'ampiezza è correlata all'effetto di sgrossatura in corrispondenza dell'interfaccia del cordone di saldatura. Questo movimento di sgrossatura, in combinazione con la pressione, è responsabile del processo di saldatura. Il processo di saldatura lineare può essere eseguito nell'assetto orizzontale – mostrato – o nell'orientamento verticale. Il processo di saldatura lineare a ultrasuoni soddisfa molti



- 01 Da sinistra in alto a destra in basso – lineare orizzontale, lineare verticale, SONIQTWIST® e PowerWheel®
- 02
 - a. I movimenti relativi all'interno del cavetto e in direzione del terminale causano il processo di saldatura
 - b. La parte da saldare si muove con il sonotrodo (nell'area di saldatura)
 - c. La parte inferiore è fissata saldamente all'incudine e non deve muoversi



dei requisiti delle applicazioni di saldatura dei metalli ed è in grado di congiungere metalli dissimili. Le saldature risultanti offrono un'ottima conducibilità elettrica e saldature forti, senza cambiamenti strutturali nel materiale di base.

Il processo di saldatura torsionale SONIQTWIST® di Telsonic apre ulteriori opportunità e applicazioni. Questo processo unico determina vibrazioni lineari minime nel pezzo, una caratteristica importante nelle applicazioni in cui possono essere presenti sensori o altri componenti elettronici. Altri vantaggi di questa tecnica sono la capacità di funzionare con successo nelle applicazioni in cui l'accesso è limitato e i tempi di ciclo di processo rapidi. SONIQTWIST® può essere utilizzato anche per la saldatura plastica e dei metalli; e nelle applicazioni con lamine o pellicole l'uso di SONIQTWIST® elimina la possibilità di un effetto "membrana" o di increspatura sulla superficie. (Vedere l'immagine 01a a pagina 1)

Nelle applicazioni di saldatura dei metalli in cui sono presenti cavi di grande diametro, terminali di grandi dimensioni o capicorda tubolari e saldatura da terminale a terminale, la tecnologia PowerWheel® di Telsonic offre la soluzione ottimale. Offrendo una eccellente accessibilità alla zona di saldatura, PowerWheel® è in grado di saldare fino a 200 mm² di materiale di rame, ottenendo saldature più strette del 30%. Questo processo inoltre migliora in modo significativo la compressione del filo e offre un'eccellente resistenza di saldatura. (Vedere l'immagine 01b a pagina 1)

Fattori che influenzano la qualità della saldatura

Selezione del materiale

Vi sono diversi fattori che influenzano la qualità della saldatura, tra cui i materiali da congiungere, le condizioni della superficie, i parametri di saldatura e le attrezzature utilizzate, la struttura del pezzo e, naturalmente, le influenze umane. I tipi di metallo più adatti al processo di saldatura a ultrasuoni sono l'alluminio e il rame. In generale, più il materiale è puro, più è adatto alla saldatura a ultrasuoni. Tuttavia, dopo la valutazione possono essere presi in considerazione l'ottone (ad esempio Ms63, CuZn37) senza piombo, l'argento al nichel e il bronzo (fino all'8,5% di Sn), a seconda della singola lega. Inoltre, anche i rivestimenti in oro, argento e nichel su un substrato di rame sono adatti al processo di saldatura a ultrasuoni in base a determinati parametri.

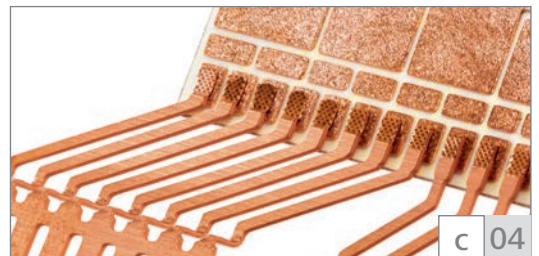
Per il nichel (Ni), lo spessore del rivestimento dovrebbe essere compreso tra 3 e 12 µm, preferendo il processo chimico-elettrolitico e con meno dell'1% di fosforo presente. I rivestimenti in argento (Ag) idealmente dovrebbero avere uno spessore compreso tra 3 e 5 µm su una base di nichel (Ni), e laddove possibile la superficie dovrebbe essere liscia e fine o lucidata. L'oro (Au) offre una buona saldabilità e il processo di rivestimento dovrebbe essere eseguito come ultima fase, dopo qualsiasi operazione di punzonatura o piegatura. Quando si salda a ultrasuoni l'alluminio, è importante che abbia una purezza di almeno il 99,5% e che non sia anodizzato, anodizzato duro o rivestito in alcun modo.



a 04



b 04



c 04

03 Saldature di cavetti di combinazioni rame/alluminio

04 Esempi di applicazioni di SONIQTWIST® includono (a): Bullone saldato al connettore di corrente, (b): Barattoli di metallo sigillati ermeticamente e (c): Connessione elettrica su IGBT

Condizione della superficie

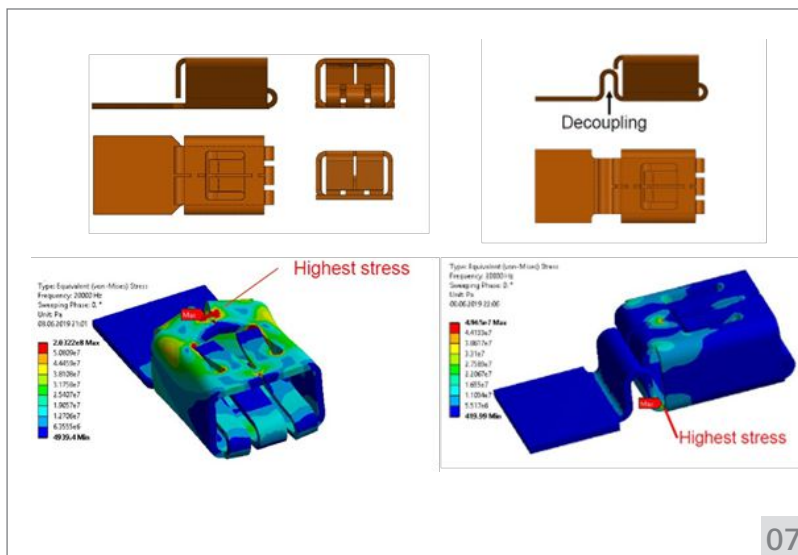
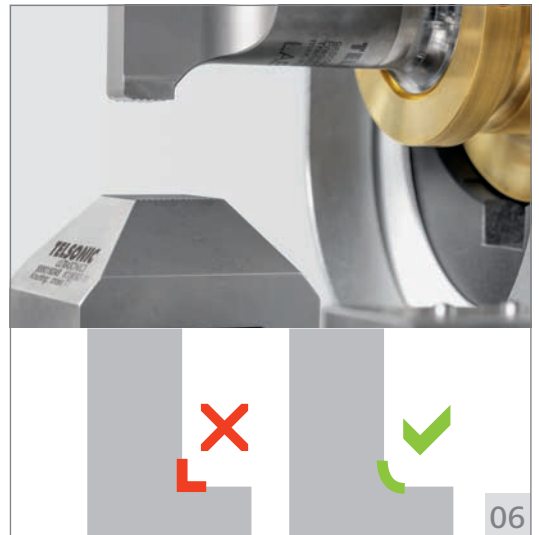
Altri fattori relativi al materiale e che possono influire sulla qualità del processo di saldatura sono la presenza di oli di estrazione e di additivi che influiscono negativamente sulla qualità della saldatura. I processi di produzione che possono essere stati eseguiti prima della saldatura, come la punzonatura, la laminazione o il taglio laser, possono indurre un indurimento del materiale e, ancora una volta, avere un impatto negativo sul processo di saldatura a ultrasuoni. Inoltre, le superfici ruvide o irregolari, le superfici ossidate o rivestite di piombo o stagno e le superfici contenenti riempitivi non saranno adatte alla saldatura a ultrasuoni.

È anche importante mantenere la coerenza nelle specifiche del materiale utilizzato, ed essere consapevoli che i materiali provenienti da fornitori diversi potrebbero essere abbastanza diversi da influenzare negativamente il processo di saldatura.

Progettazione e messa a punto del pezzo in lavorazione

Come per qualsiasi processo di produzione, vi sono diverse aree che devono essere riviste, sia per quanto riguarda la progettazione dei componenti che la messa a punto del processo, per garantire risultati di saldatura a ultrasuoni efficienti e coerenti.

A livello di impostazione di base, è importante assicurarsi che l'incudine sia posizionata direttamente sotto l'area di saldatura. È anche importante avere una zigrinatura sia sull'incudine che sul sonotrodo. Quando si saldano i terminali, la



- 05 Le condizioni della superficie del materiale influiscono sulla qualità del processo di saldatura
- 06 Linee guida di progettazione del contatto
- 07 La progettazione originale – A SINISTRA – causava sollecitazioni elevate e difetti. Il design di disaccoppiamento di Telsonic – A DESTRA – ha eliminato il problema

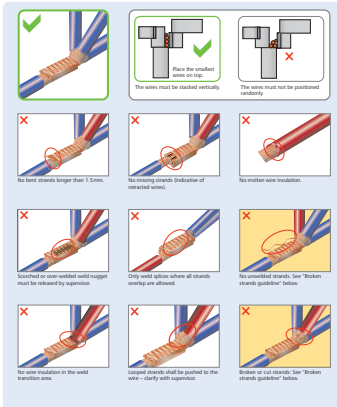
forza che trattiene il terminale gioca un ruolo importante nella qualità della saldatura risultante, e i terminali dovrebbero presentare solo piccole superfici sporgenti o, preferibilmente, nessuna superficie sporgente. Un'altra caratteristica da considerare è che non vi devono essere angoli o spigoli vivi sul contatto.

L'importanza di assicurarsi che il componente sia progettato correttamente può essere illustrata nel seguente esempio. Esso mostra la simulazione FEM realistica di un contatto con un accoppiamento rigido, dove il design errato del terminale causava difetti. Un filo di rame veniva saldato longitudinalmente sulla superficie di contatto e la vibrazione ultrasonica veniva trasmessa al contatto a innesto, che risultava fortemente sollecitato.

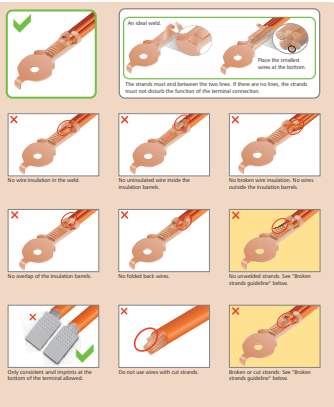
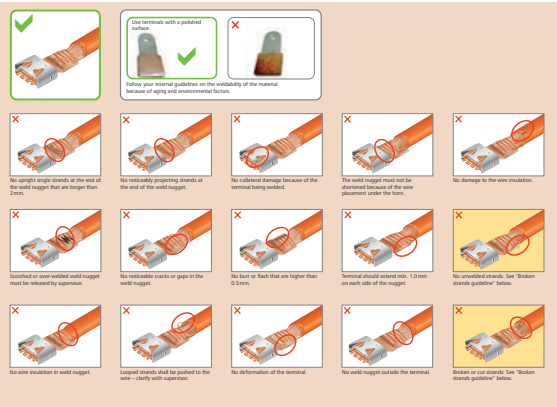
Coinvolgendo Telsonic nel processo di progettazione, il design del componente è stato ottimizzato disaccoppiando il contatto a innesto dalla superficie di saldatura. Ciò ha fatto sì che solo poche vibrazioni venivano trasmesse al contatto, eliminando i danni visti in precedenza.

Ultrasonic Metal Welding – Quality Guidelines

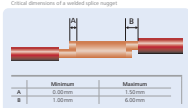
Ultrasonic Wire Splicing



Ultrasonic Wire Termination



WELD QUALITY GUIDELINE

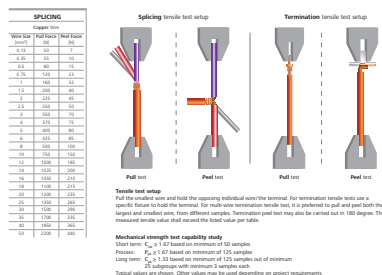


BROKEN STRANDS GUIDELINE

Minimum allowed broken or missing strands for splicing & termination in production:

Strands of cable	Broken or missing allowed
3-7	0
8-19	1
20-29	2
30 or more	max 5% of total strands in splice

TENSILE TEST METHODS & VALUES



WIRE SPECIFICATIONS

SAE AWG				ISO METRIC			
Wire Size	Wire Size	Wire Size	Wire Size	Wire Size	Wire Size	Wire Size	Wire Size
18	0.127	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
16	0.160	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
14	0.203	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
12	0.254	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
10	0.318	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
8	0.406	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
6	0.508	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
4	0.635	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
2	0.813	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13

08 Seguendo alcuni passi e raccomandazioni di base, si può garantire una buona saldatura

Fattori di influenza e caratteristiche di una buona saldatura

VI sono diversi fattori che influenzano il risultato del processo di saldatura a ultrasuoni dei metalli. Nel caso della saldatura di cavetti e di terminazioni di cavo, questi includono: la lunghezza del nastro e la posizione del cavo prima della saldatura, l'altezza, la larghezza e la lunghezza del legame della saldatura, le posizioni dell'estremità del conduttore e dell'isolamento e, naturalmente, il tempo di saldatura. È anche importante considerare eventuali differenze nelle dimensioni dei cavetti, adottando misure per evitare nodi laterali, e il posizionamento di eventuali terminali delicati. Se questi passaggi sono corretti, il processo di saldatura a ultrasuoni dei metalli produrrà risultati di alta qualità e costanti. Se applicate alle applicazioni di saldatura dei cavetti, le seguenti caratteristiche definiscono una buona saldatura: tutti i cavetti sono saldati e la lunghezza complessiva della saldatura è sufficiente. Le estremità dei fili, o "spazzole", devono essere corte e piatte, senza cavetti tagliati all'esterno dell'area di saldatura e senza segni di bruciate. Inoltre, tutti i fili devono essere sovrapposti, senza eccessivi bave o sbavature e non devono esservi danni al materiale isolante.

Telsonic ha realizzato un poster di una sola pagina, completo e informativo, che funge da guida per le comuni applicazioni di saldatura di cavetti e di saldatura dei cavetti sui terminali. Importanti criteri qualitativi e operativi sono evidenziati tramite testo e immagini, insieme a criteri di prova e a una utile tabella delle dimensioni dei fili.

Comprendere e definire i parametri di saldatura

A prescindere dagli altri criteri discussi in precedenza, come la scelta del processo lineare o torsionale, la selezione del materiale, la condizione della superficie, il design del prodotto e la messa a punto e configurazione fisica, è essenziale scegliere i parametri di saldatura corretti per l'applicazione in esame.

Per fare delle scelte appropriate, è importante capire i singoli elementi che influenzano il ciclo di saldatura. La formula della potenza è influenzata da: tempo, vale a dire la durata delle vibrazioni ultrasoniche, ampiezza, che rappresenta lo spostamento longitudinale della

vibrazione, e **forza**, cioè la forza di compressione applicata perpendicolarmente (normale) alla direzione della vibrazione. La **potenza** necessaria per avviare e mantenere la vibrazione (movimento) durante il ciclo di saldatura è definita come: $P \approx C \times F_o \times A \times f$ dove C=Costante predefinita, P=Potenza (watt), F_o =Forza (Newton), A=Ampiezza (micron), f=Frequenza (Hz).

*Nota: la forza viene determinata moltiplicando:

Forza = Forza applicata verso il basso × Coefficiente di attrito = Pressione × Area del cilindro × Coefficiente di attrito

L'energia si calcola come: $E = P \times T$, dove E=Energia (Joule), P=Potenza (Watt), T=Tempo (secondi).

Pertanto, il processo completo di "Saldatura a energia" verrebbe definito come: $E \approx 4 \times F_o \times A \times f \times T$

Un sistema di saldatura a ultrasuoni per metalli ben progettato compenserà le normali variazioni delle condizioni superficiali dei metalli erogando il valore di energia specificato. Ciò si ottiene consentendo al tempo (T) di adattarsi alle condizioni dei materiali e di fornire l'energia desiderata.

Regola empirica per la progettazione dell'applicazione nella saldatura di rame e alluminio

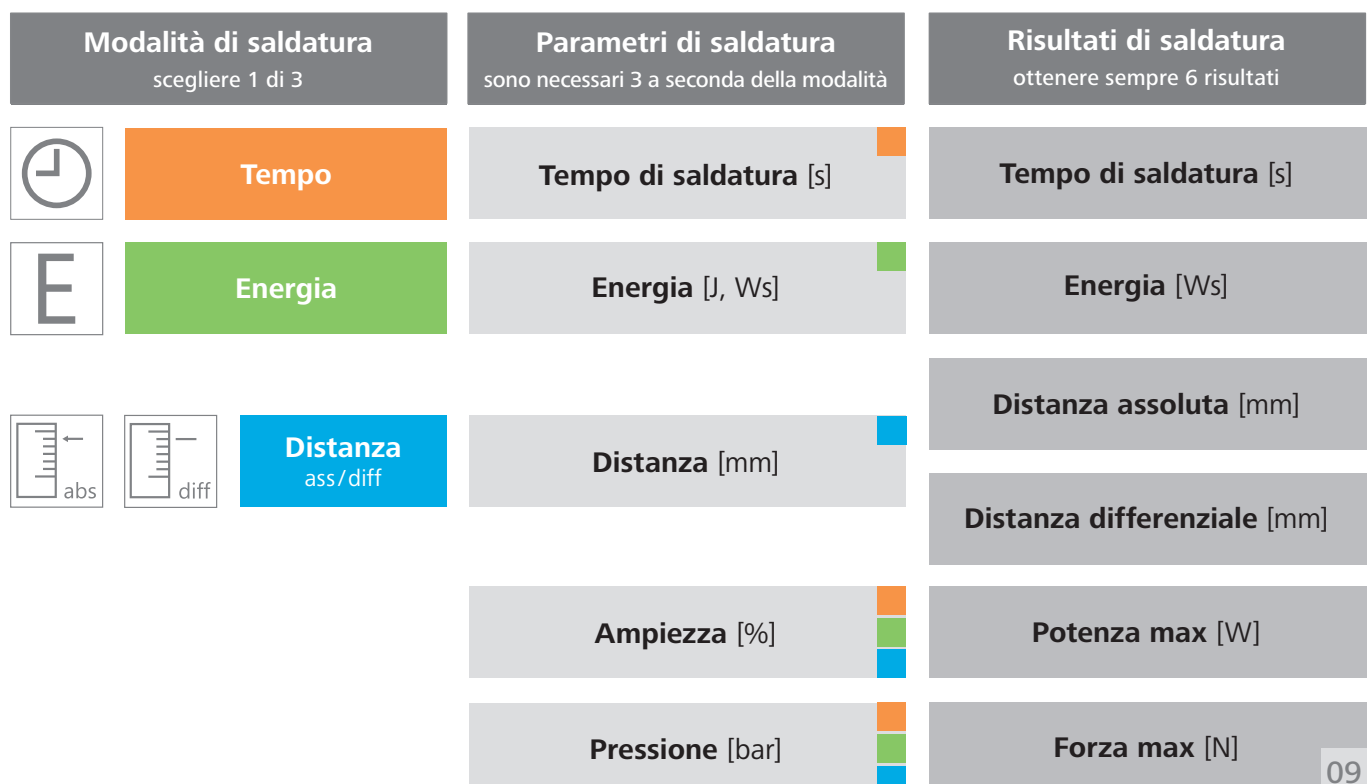
	Rame	Alluminio
Potenza*: area di saldatura [mm ²] × potenza [W/mm ²]	33 W/mm ²	24 W/mm ²
Forza**: area di saldatura [mm ²] × forza [N/mm ²]	20 N/mm ²	15 N/mm ²
Ampiezza***: al 90% della potenza di uscita del generatore	30 μm	24 μm
Forza di trazione (saldatura cavetti sul terminale)	A seconda del materiale. USCar 38-1 funge da linea guida	

Per compensare le tolleranze e le variazioni dell'applicazione, nei calcoli occorre tenere conto dei seguenti margini di sicurezza:

- * Progettato per max l'80% della potenza di saldatura del generatore
 - ** Progettato per max il 90% della forza di saldatura nominale
 - *** Progettato per min. l'80% fino a max il 90% dell'ampiezza di uscita del generatore
- 09 L'infografica in alto evidenzia le diverse modalità di saldatura, i parametri e i risultati del processo di saldatura a ultrasuoni dei metalli

Definire e controllare il processo di saldatura

La seguente infografica evidenzia le diverse modalità di saldatura, i parametri e i risultati del processo di saldatura a ultrasuoni dei metalli.



La modalità di saldatura **TEMPO** viene spesso utilizzata per le nuove applicazioni, per aiutare a determinare l'energia necessaria. Questa modalità ha il vantaggio di evitare la sovrasaldatura grazie a un tempo di saldatura ridotto. Gli utenti possono poi passare alla modalità di saldatura a energia una volta stabilito il livello di energia corretto. Va notato che l'aumento del tempo di saldatura aumenta anche l'energia prodotta se l'ampiezza e la pressione rimangono invariate.

La modalità di saldatura **ENERGIA** è la modalità di saldatura consigliata per ottenere risultati più coerenti nei test di trazione e viene utilizzata quando viene definita l'energia richiesta. Il vantaggio in questo caso è che per la saldatura viene utilizzata sempre la stessa quantità di energia, che compensa le piccole fluttuazioni del materiale o dell'utensile. Aumentando l'energia, aumenta anche il tempo di saldatura se l'ampiezza e la pressione rimangono invariate. Inoltre, un aumento dell'ampiezza riduce il tempo di saldatura se l'energia e la pressione rimangono invariate, e anche un aumento della pressione riduce il tempo di saldatura se l'energia e l'ampiezza rimangono invariate.

Influenze umane

L'ultimo fattore che può influenzare il successo o meno del processo di saldatura a ultrasuoni dei metalli è quello della interazione umana. È essenziale che gli operatori siano adeguatamente formati per comprendere la necessità di preparare e manipolare i materiali prima e dopo il processo di saldatura. Anche la ripetibilità di qualsiasi processo o compito manuale avrà un'influenza sul risultato del processo di saldatura.



10 Greg Ruscak,
Applications Manager,
TELSONIC Solutions,
LLC