

MANUALE SULLA SALDATURA ED ALTRE TECNICHE DI GIUNZIONE

NELLA FABBRICAZIONE DI GIOIELLERIA IN ORO



MANUALE SULLA SALDATURA ED ALTRE TECNICHE DI GIUNZIONE

NELLA FABBRICAZIONE DI GIOIELLERIA IN ORO



di Mark F. Grimwade
Consulente del World Gold Council

Copyright© 2002 del World Gold Council, Londra

Data di pubblicazione dell'edizione in inglese: gennaio 2002

Data di pubblicazione dell'edizione in italiano: aprile 2002

Pubblicato dal World Gold Council, International Technology,
45 Pall Mall, Londra, SW1Y 5JG, Regno Unito
Telefono: +44 20 2930 5171. Fax: +44 20 7839 6561
E-mail: chris.corti@wgclon.gold.org

Autore: Mark F. Grimwade, C. Eng. MIM, Northwood, Regno Unito

Editor: Dr Christopher W. Corti

Tradotto in italiano dal prof. Giovanni Baralis

Impaginato e stampato da Trait Design

Nota: Nella preparazione di questa pubblicazione è stata posta la massima cura, tuttavia il World Gold Council non si assume alcuna responsabilità per l'esattezza di qualsiasi affermazione o descrizione o per le conseguenze che possono derivare dall'uso delle informazioni in essa contenute. Questo manuale deve essere esclusivamente considerato come una fonte di informazioni di carattere generale per professionisti esperti nel settore e, quando necessario, si deve richiedere la consulenza di specialisti.

È necessario utilizzare sempre procedure approvate per la sicurezza e per la protezione della salute.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, tradotta, conservata in un sistema di reperimento delle informazioni o trasmessa in qualunque forma o con qualunque mezzo elettronico, meccanico, con fotocopiatrici, registrazioni o con altri metodi, senza un precedente permesso scritto da parte del detentore del copyright.

INDICE

Prefazione	6	6	Composizione delle leghe per saldatura	33
Glossario	7			
1 Introduzione	11	7 Altri metodi di giunzione	39	
1.1 Metodi di giunzione	11	7.1 Saldatura con raggio laser	39	
1.2 Definizione della saldatura	12	7.2 Saldatura per fusione	42	
1.3 Fattori da considerare	12	7.3 Saldatura per diffusione	44	
1.4 Protezione della salute e sicurezza	13	7.4 Giunzione con adesivi	45	
1.5 Ulteriori informazioni	13	8 Salute, sicurezza ed ambiente	47	
2 Principi del processo di saldatura	15	8.1 Il cadmio nelle leghe per saldatura	47	
3 Progettazione dei giunti	17	8.2 Solventi, acidi e fondenti	48	
3.1 Interstizio del giunto	17	8.3 Saldatura in forno	49	
3.2 Lunghezza ed area del giunto	18	8.4 Protezione degli occhi e ustioni	50	
3.3 Configurazione del giunto	18	9 Valutazione della qualità dei giunti	51	
3.4 Discussione	19	9.1 Cause della scarsa resistenza dei giunti	51	
4 Il processo di saldatura	21	9.2 Valutazione dei giunti	51	
4.1 Forme delle leghe per saldatura	21	9.3 Problemi frequenti nella saldatura	55	
4.2 Attrezzature ausiliarie e dispositivi di fissaggio	21	10 Ulteriori letture	57	
4.3 Metodi di riscaldamento	23	11 Fornitori di leghe per saldatura e di apparecchiature	61	
4.4 Preparazione e pulizia delle superfici del giunto	26	12 Ringraziamenti	65	
4.5 Applicazione della lega per saldatura sul giunto	27	Publicazioni Tecniche del World Gold Council	65	
4.6 Saldatura in stadi successivi	28			
5 Forme delle leghe per saldatura	29			
5.1 Lamina, nastro e filo	29			
5.2 Lamina e nastro ricoperti di lega per saldatura	29			
5.3 Filo con anima di lega per saldatura	29			
5.4 Pasta di lega per saldatura	30			

PREFAZIONE

Nella serie di manuali tecnici pubblicati dal World Gold Council, questo è il sesto. Questi manuali hanno lo scopo di aiutare gli orafi ed i produttori di gioielleria ad usare tecnologie e pratiche ottimali, per migliorare la qualità dei prodotti, prevenire i difetti ed abbreviare i tempi di lavorazione, con conseguente riduzione dei costi. Riteniamo che, se si vogliono ottenere costantemente prodotti di buona qualità, l'orafa debba capire i principi su cui si basano materiali e processi. Perciò lo scopo di questi manuali è non solo fornire buone indicazioni e procedure di base, ma anche spiegare in modo semplice la loro importanza ed il loro effetto sulla qualità. Grazie a queste conoscenze, l'orafa dovrebbe essere in grado di risolvere meglio i problemi che talora gli si presentano.

La saldatura è un metodo di giunzione usato quasi universalmente nella produzione della gioielleria, sia da parte degli artigiani che nella produzione in serie. Nei molti seminari tecnici che teniamo in tutto il mondo, la saldatura è un punto importante del programma e provoca molte domande, anche se è un processo che diamo per scontato. Secondo la mia esperienza, molte perdite di tempo e di fatica sono causate da pratiche di saldatura poco corrette. Quante volte ho visto orafi placcare la loro gioielleria per nascondere disuniformità di colore tra i componenti della gioielleria e la lega per saldatura? Oppure usare leghe a caratura più bassa per avere il punto di fusione adatto? Questo senza menzionare l'uso di leghe con cadmio, che in alcuni paesi è ancora diffuso! Con le attuali conoscenze è possibile usare leghe senza cadmio, con la stessa caratura e buon accoppiamento di colore fino a 22K. Inoltre con le tecniche moderne si può saldare anche gioielleria a 24 K senza problemi di colore o di marchiatura.

Nella produzione della gioielleria si tende a considerare la saldatura come un metodo per congiungere delle parti, e non come un processo che ha requisiti di ingegneria. Raramente si studia la progettazione e la posizione dei giunti per ottenere il massimo di resistenza, mentre vi sono dei casi, come la saldatura dei perni sugli orecchini, in cui è importante ottimizzare la resistenza meccanica del giunto. Si spera che questo manuale convinca i lettori a considerare meglio questo aspetto.

Nella produzione di gioielleria si sta diffondendo anche l'uso di altre tecniche di giunzione, delle quali è un buon esempio la saldatura laser "in situ" della catena. Tenendo presente questa circostanza, in questo manuale è stato incluso un capitolo sulle altre tecniche di giunzione.

È stato per me un grande piacere lavorare con Mark Grimwade alla stesura di questo manuale. Mark è ben noto a molti di voi come esperto nella tecnologia della gioielleria, poiché ha scritto molti articoli sulle basi della metallurgia per gli orafi su *Aurum* e *Gold Technology* e, come consulente del World Gold Council, ha tenuto molti seminari tecnici in molti paesi. Egli è anche autore del libro "An Introduction to Precious Metals", che purtroppo ora è esaurito. Grazie alla sua lunga esperienza di docente di metallurgia, egli ha la capacità di presentare i concetti tecnici in modo chiaro e facilmente comprensibile. Credo che nel campo della gioielleria, questo manuale diventerà un classico, poiché risponde alla richiesta di un libro autorevole ed esauriente sull'argomento. So che lo troverete utile e di gradevole lettura.

Christopher W. Corti, Londra, novembre 2001

GLOSSARIO

Adesivo: un polimero naturale o sintetico usato per creare un forte legame chimico tra le superfici.

Affinazione del grano: piccole aggiunte di agenti nucleanti favoriscono la formazione di un grano fine e ne inibiscono la crescita.

Atmosfera protettiva: atmosfera usata in un forno per impedire l'ossidazione dei pezzi durante la saldatura o il trattamento termico.

Brasatura: termine tecnico per indicare la saldatura forte a temperatura superiore a 450°C. A rigore, è il processo con cui le leghe d'oro sono unite ad alta temperatura con un opportuno metallo di apporto, ma nell'industria della gioielleria si tende a indicarlo come saldatura.

Capillarità: è il fenomeno per cui la lega per saldatura fusa è risucchiata nell'interstizio del giunto.

Carato, caratura: misura del titolo in oro. L'oro puro è a 24 carati, o puro al 100% (titolo 1000 per mille). 18 carati significa che il contenuto in oro è $18/24 = 75\%$ (titolo 750 per mille), 14 carati corrisponde a $14/24 = 58,33\%$ di oro, 9 carati è $9/24 = 37,5\%$ di oro, ecc.

Colore: oltre che con la caratura, le leghe d'oro possono essere indicate con il loro colore. Per esempio, 18 carati giallo, rosa, rosso o bianco. Il colore può essere valutato usando lo standard internazionale ISO 8654 o misurando quantitativamente le coordinate di colore con il sistema CIELAB.

Cordone di angolo: stretta striscia di metallo di apporto all'esterno di giunti tra parti che formano un angolo.

Decapaggio: processo di dissoluzione degli ossidi superficiali e del fondente mediante immersione in un opportuno bagno di acidi diluiti. Può far parte della preparazione iniziale delle superfici o delle operazioni che seguono la saldatura.

Diagramma di stato: diagramma che descrive il comportamento in condizioni di equilibrio di leghe di due o più metalli, in funzione della temperatura e della composizione.

Diffusività termica: misura della capacità di raffreddamento o di isolamento termico. È definita come il rapporto tra la conduttività termica ed il calore specifico. L'argento ha la diffusività termica più alta fra tutti i metalli preziosi, seguito da vicino dall'oro e dalle leghe ad alta caratura, mentre il platino ha bassa diffusività termica.

Dilatazione (contrazione) termica: aumento (o diminuzione) delle dimensioni e del volume di un oggetto in seguito a riscaldamento (o raffreddamento). Se ne deve tener conto quando si collocano più pezzi in un dispositivo di fissaggio per un'operazione di riscaldamento.

Dimensioni del grano: dimensioni medie dei grani, o cristalli, che formano la struttura policristallina di metalli e leghe. Le dimensioni del grano influenzano le proprietà meccaniche.

Dispositivi di fissaggio: mezzi per tenere al loro posto più parti assemblate, mentre se ne effettua la giunzione.

Distensione: trattamento termico a temperatura relativamente bassa, di solito 30 minuti a 250°C, per diminuire le tensioni residue. Ha scarso effetto sulle altre proprietà meccaniche, ma diminuisce il rischio di rotture da tensiocorrosione.

Elettrolita: soluzione capace di condurre la corrente elettrica tra due elettrodi (anodo e catodo). La soluzione contiene ioni metallici e non metallici o ioni complessi. Nell'elettrolaccatura e nell'elettroformatura gli ioni metallici sono depositati sull'oggetto che funge da catodo.

Fluidità: capacità di una lega fusa di penetrare nell'interstizio di un giunto, formando sui bordi cordoni lisci e arrotondati.

Fondente: sostanza che fonde a temperatura più bassa della lega per saldatura, pulisce le superfici del giunto e le protegge dall'ossidazione, facilitando l'umettamento da parte della lega per saldatura.

Granulazione: decorazione della superficie di gioielli ottenuta saldandovi per fusione dei piccoli granuli tondeggianti. Può essere ottenuta con saldatura per diffusione, saldatura laser o saldatura forte.

Hallmarking: marchiatura di oggetti in metallo prezioso da parte di un ente terzo indipendente, per indicare il titolo dell'oggetto.

Interstizio del giunto: distanza tra le superfici che devono essere unite. È un importante parametro di progettazione.

Intervallo di fusione: intervallo di temperatura tra le temperature di solidus e di liquidus di una lega.

Lega: combinazione di due o più metalli, preparata di solito fondendoli insieme. È progettata per ottenere determinate proprietà come resistenza, durezza, duttilità, colore, ecc.

Legante: sostanza organica, stabile a temperatura ambiente, che, in una pasta per saldatura, mantiene in sospensione la polvere di lega fino alla temperatura di saldatura. Non reagisce chimicamente con la polvere di lega per saldatura.

Liquidus: temperatura al di sopra della quale una lega è completamente fusa.

Macchiatura: alterazione del colore della superficie causata dalla formazione di pellicole di solfuri sulle leghe d'oro a bassa caratura e sull'argento. È causata da molti fattori, tra cui l'inquinamento atmosferico, alcuni cosmetici, i detersivi di uso domestico e la composizione dei fluidi organici (sudore).

Metallo base: metallo diverso dai metalli preziosi (oro, argento e metalli del gruppo del platino). Di solito è presente come componente delle leghe d'oro per gioielleria.

Minuteria: componenti prodotti commercialmente per fabbricare gioielleria. Per esempio, fermagli, pernetti, ganci, ecc.

Paglioni (paillons): pezzetti tagliati da lamine o nastri di lega per saldatura, che vengono messi sopra o dentro l'interstizio del giunto. Sono spesso fissati al loro posto con una goccia di fondente. Con l'avvicinarsi della fiamma, fondono e scorrono gradualmente.

Pasta per saldatura: pasta ottenuta con polvere di lega per saldatura, miscelata con un legante organico con o senza aggiunta di fondente. Fornita in barattoli o siringhe per facilitare il dosaggio.

Produzione di catena: la catena può essere prodotta a mano o a macchina partendo da bobine di filo. Di solito, per avere una catena resistente, le maglie devono essere chiuse con una saldatura.

Proprietà meccaniche: proprietà di un metallo o di una lega come resistenza, duttilità, durezza, tenacità, ecc. Il carico di rottura a trazione è il massimo carico sopportato prima della rottura; il carico di snervamento è quello oltre il quale il metallo o la lega si deformano in modo permanente; la resistenza al taglio è la resistenza ad uno sforzo di taglio. La duttilità è una misura della capacità di un metallo o di una lega di deformarsi plasticamente senza rompersi e di solito è espressa come allungamento percentuale alla frattura. La durezza è la resistenza alla penetrazione di un penetratore. Queste proprietà sono misurate su provini standard usando apparecchiature e procedure standardizzate.

Prova di cessione del nichel: prova descritta nella norma EN 1811:1998, con la quale si misura la velocità di cessione del nichel da parte di oggetti di gioielleria che contengono nichel. La velocità di cessione deve essere inferiore a 0,5 microgrammi per centimetro quadrato per settimana. La Direttiva 94/27/EC dell'Unione Europea proibisce nell'UE la vendita di gioielleria che non superi la prova.

Punto di scorrimento: temperatura alla quale la lega per saldatura penetra nel giunto. Può essere superiore di pochi gradi alla temperatura di liquidus della lega.

Raggio laser: raggio ad alta energia di luce coerente e monocromatica, che può essere focalizzato, per fornire un forte apporto di calore in un'area delimitata.

Rapporto tra gas combustibile e ossigeno: rapporto che determina se la fiamma di un cannello o l'atmosfera di un forno è riducente, neutra o ossidante. Per esempio, per la reazione $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ in cui l'idrogeno (H_2) è il gas combustibile, con un rapporto idrogeno:ossigeno di 2 si ha combustione completa e la fiamma o l'atmosfera sono neutri. Con un rapporto più basso si ha una fiamma ossidante, con un rapporto più alto si ha una fiamma riducente.

Ricottura: ripristino della duttilità e addolcimento di metalli e leghe dopo la deformazione a freddo, mediante riscaldamento ad una temperatura che provoca la ricristallizzazione.

Rossetto: mezzo di lucidatura basato su ossido ferrico, usato talora come mezzo di arresto, per impedire l'allargamento delle leghe per saldatura fuse.

Rottame: materiale di scarto o in eccesso, che può essere riciclato in azienda o inviato alla raffinazione, per il recupero del metallo prezioso contenuto.

Saggio: analisi di un oggetto per determinare il suo contenuto di metalli preziosi.

Saldatura (welding): processo nel quale le parti sono unite per mutua fusione all'interfaccia, senza usare leghe per saldatura. La saldatura a resistenza è ottenuta con un riscaldamento localizzato causato dalla resistenza ad un impulso di corrente elettrica attraverso l'interfaccia, per esempio, saldatura per punti (puntatura) o saldatura continua. La saldatura ad arco-plasma è ottenuta con l'intenso riscaldamento da parte di un gas ionizzato da una scarica elettrica. La saldatura laser è ottenuta focalizzando un raggio laser con alto apporto di calore su un'area limitata.

Saldatura dolce o forte (soldering): unione di parti in metallo o lega mediante fusione di una lega ad intervallo di fusione più basso nota come lega per saldatura. Si definisce saldatura dolce quella eseguita a meno di 450°C e saldatura forte quella eseguita a temperatura superiore a 450°C .

Saldatura fredda (o "secca"): giunzione difettosa causata dalla mancanza di penetrazione o di umettamento da parte della lega per saldatura.

Saldatura per diffusione: giunzione ottenuta per migrazione degli atomi (diffusione) attraverso l'interfaccia del giunto. Tra le superfici da unire si può introdurre una lamina sottile di metallo di apporto causando una fusione transitoria.

Sensazione di sabbia negli occhi: sgradevole irritazione degli occhi dopo sovraesposizione all'intensa radiazione di un arco elettrico o di una fiamma ad alta temperatura. Si previene indossando occhiali adatti.

Solidus: temperatura al di sotto della quale una lega è completamente solida. N.B. Per un metallo puro le temperature di solidus e di liquidus coincidono, poiché i metalli puri fondono e solidificano ad una temperatura caratteristica e ben precisa e non in un intervallo di temperatura.

Tempra: immersione di un oggetto metallico ad alta temperatura in un fluido per raffreddarlo rapidamente, per esempio, dopo saldatura, ricottura o altro trattamento termico. Di solito, per le leghe d'oro il mezzo di tempra è l'acqua.

Tensioni residue (tensioni interne): tensioni che rimangono all'interno di un oggetto che è stato deformato a freddo o raffreddato rapidamente. Nelle leghe d'oro a bassa caratura possono causare rottura da tensiocorrosione.

Titolo: contenuto di metallo prezioso espresso in parti per mille in peso. Per esempio, l'oro a 22 carati ha titolo 917.

Tossico: velenoso, dannoso per la salute.

Trattamento termico: trattamento di metalli e leghe, che include una combinazione di temperatura, tempo, riscaldamento e raffreddamento, per ottenere cambiamenti della microstruttura e delle proprietà meccaniche.

Ugello dei cannelli: indica tipo e dimensioni dei canali di uscita del gas e dell'aria o dell'ossigeno, che controllano il diametro della fiamma.

Umectabilità: misura della facilità con cui una lega per saldatura fusa (o un adesivo) "bagna" una superficie solida. L'angolo di contatto tra il liquido ed il solido deve essere inferiore a 90° .



Per gentile concessione di Quimijoy s.a., Spagna

1 INTRODUZIONE

Spesso accade che si debbano produrre oggetti di forma così complicata che è impossibile o troppo costoso fabbricarli in un solo pezzo. Però è possibile ottenerli partendo da componenti di forma più semplice e meno costosi, unendoli poi con un metodo adatto. Questo vale non solo per componenti meccanici e strutture ma anche per piccoli oggetti di gioielleria con forma complicata, per esempio, pezzi in filigrana, maglie di catena, collegamento di minuteria, unione di anelli con il castone, ecc. Il metodo del colaggio a cera persa ha reso possibile produrre in un solo pezzo con forma quasi finita oggetti che prima erano costruiti unendo parti di forma più semplice mediante saldatura. Questo lavoro richiedeva una grande abilità artigianale. La costruzione dei castoni per le gemme è un tipico esempio di quanto detto. Attualmente i castoni sono colati di solito in un solo pezzo, che include anche altre parti come gambo di anelli, orecchini, spille o ciondoli. Tuttavia ci sono molti oggetti che non possono essere colati in un solo pezzo, poiché la loro forma è troppo complicata o la sezione è troppo sottile.

Oltre alla fabbricazione di gioielleria, i processi di giunzione sono molto usati anche in altri campi. Fra questi c'è la riparazione di oggetti di uso quotidiano, che sono soggetti a usura, rottura o danni di altro tipo. Ciò può includere la messa a misura di anelli, la sostituzione o la riparazione di graffette, o la sostituzione di fermagli o altra minuteria. I processi di giunzione sono poi necessari per restaurare o ricostruire oggetti antichi ed infine, anche se non si tratta di giunzioni in senso stretto, gli stessi materiali e le stesse apparecchiature sono usate per riparare i difetti di colaggio. In particolare, una estesa porosità da colaggio, che appare sulla superficie degli oggetti, può essere coperta con riscaldamento localizzato ed opportune leghe o saldature.

Questo manuale ha lo scopo di aiutare gli artigiani ed i produttori orafi fornendo informazioni e pratiche ottimali. Si spera che faciliterà la comprensione dei principi e delle pratiche delle tecniche di giunzione ed aiuterà a migliorare la qualità della gioielleria in oro.

1.1 METODI DI GIUNZIONE

I metodi di giunzione possono essere di parecchi tipi:

- non permanenti: per es. giunzioni a vite,
- con unione meccanica: per es. rivettatura, calettatura,
- a stato solido: per es. saldatura per diffusione, a pressione o per attrito,
- saldatura per fusione: per es. saldatura a resistenza a punti o continua, saldatura laser, saldatura ad arco-plasma,
- giunzione liquido/solido: per es. saldatura dolce o forte, giunzione con adesivi.

Questi processi sono usati anche ora per la produzione di gioielleria, ma si deve ricordare che i processi di saldatura sono sempre stati usati, fin dai tempi più remoti. I reperti mostrano che la saldatura dell'oro era già praticata nel Medio Oriente almeno 5500 anni fa. Il famoso papiro di Leida, trovato in Egitto e scritto in greco verso il 350 d. C., descrive metodi per preparare leghe per saldatura. Di conseguenza, gran parte di questo manuale sarà dedicata alla saldatura forte, anche se una sezione riguarderà esclusivamente le altre tecniche di giunzione. In particolare, la saldatura laser, che è

stata introdotta relativamente di recente nell'industria, offre molti vantaggi. I metodi non permanenti o meccanici dovrebbero essere considerati solo quando non è possibile usare altri metodi, a causa di danni che possono essere prodotti dal surriscaldamento, da distorsioni, tensioni residue, bassa resistenza del giunto, ecc. Fortunatamente ciò accade di rado, per cui di questi metodi non si dirà altro.

1.2 DEFINIZIONE DELLA SALDATURA

È importante precisare la distinzione tra **saldatura dolce**, **saldatura forte** e **brasatura**. Per convenzione, la saldatura dolce è quella eseguita a temperatura inferiore a 450°C, mentre la saldatura forte è quella eseguita a temperatura superiore a 450°C. La distinzione è alquanto arbitraria e deriva dal fatto che le leghe per saldatura dolce hanno temperatura di fusione relativamente bassa, mentre le leghe per saldatura forte fondono a temperatura molto più alta. Le leghe per saldatura dolce più note appartengono al sistema piombo (Pb)-stagno (Sn). Si deve sottolineare che le leghe Pb-Sn non dovrebbero essere mai usate, se non in circostanze veramente speciali, poiché nella gioielleria in oro l'inquinamento con piombo causa infragilimento e rotture catastrofiche. Se poi il piombo finisce nel rottame riciclato può causare gravi inconvenienti. In particolare nell'industria meccanica, la saldatura forte è nota anche come "brasatura" e le leghe per saldatura forte sono definite come "leghe per brasatura", perché in origine erano basate su rame e zinco, cioè sull'ottone ("brass" in inglese). L'ottone fonde nell'intervallo di temperatura usato di solito dagli orafi quando saldano dei pezzi. La saldatura dolce o forte e la brasatura si basano sugli stessi principi e, dal momento che gli orafi usano per tradizione il termine "saldatura" invece di "saldatura forte" o "brasatura", useremo "saldatura" in tutto questo manuale, dove applicabile.

Nota del traduttore: In italiano esiste solo il termine *saldatura* per tradurre le parole inglesi *soldering*, che indica saldatura dolce o forte, e *welding*, che indica le operazioni con cui il giunto è ottenuto mediante fusione parziale dei pezzi da unire o con apporto dello stesso metallo fuso, come saldatura elettrica, ad arco, con laser, ecc. Nella traduzione, quando necessario, si cercherà di eliminare l'ambiguità specificando il tipo di operazione a cui ci si riferisce.

Il termine *brasatura*, che in questo caso potrebbe essere più appropriato (Brasatura: procedimento di saldatura con fusione del solo metallo di apporto, in cui l'unione avviene essenzialmente per infiltrazione capillare), non sarà ulteriormente usato in questo manuale, perché poco usato nella pratica orafa.

1.3 FATTORI DA CONSIDERARE

Oltre a capire il meccanismo con il quale si formano le giunzioni, per saldatura o con altri processi, si devono considerare anche altri fattori, che descriveremo in questo manuale. La progettazione del giunto ha un forte effetto sulla sua resistenza e qualità. Nella fabbricazione della gioielleria si deve anche tener conto che l'oggetto deve avere un aspetto gradevole. Perciò i progettisti devono studiare il giunto in modo che abbia resistenza sufficiente senza essere appariscente. Nello stesso tempo si deve prestare attenzione alla determinazione della qualità del giunto. Come per tutti i processi di fabbricazione, la qualità del prodotto finale dipende dal controllo della qualità in tutte le fasi della lavorazione. Per questa ragione sono state esaminate in dettaglio le varie fasi della saldatura e degli altri processi di giunzione.

La natura delle leghe d'oro per gioielleria pone poi dei vincoli aggiuntivi, che non

si presentano in altri casi di saldatura. Vi possono essere vincoli dovuti al saggio ed alla marchiatura, che legano la caratura della lega da saldatura a quella dei pezzi da unire, anche se vi sono alcune eccezioni, poiché le leggi possono cambiare da un paese all'altro. Affinché i giunti saldati siano visibili il meno possibile, è desiderabile che il colore della lega da saldatura sia simile a quello della lega d'oro da unire. La caratura ed il colore della lega da saldatura dipendono dalla sua composizione ed una sezione del manuale riguarda questi aspetti, includendo la composizione di leghe tipiche.

1.4 PROTEZIONE DELLA SALUTE E SICUREZZA

Vi sono argomenti relativi alla protezione della salute e della sicurezza che devono essere tenuti in considerazione. Se si vogliono garantire buona qualità e produttività, è necessario preoccuparsi delle condizioni della manodopera. Alcuni dei materiali usati per la preparazione delle superfici dei giunti possono essere pericolosi o tossici. Si sconsiglia vivamente l'uso del cadmio come componente delle leghe da saldatura ed in alcuni paesi il suo uso è vietato. Un buon impianto di aspirazione dei fumi ed una buona ventilazione possono essere insufficienti, poiché si può avere inquinamento dell'ambiente esterno. Negli ultimi anni l'affermazione della saldatura laser ha imposto alcune precauzioni di sicurezza, in particolare per la protezione degli occhi.

1.5 ULTERIORI INFORMAZIONI

Infine, in fondo al manuale, vi è un'ampia bibliografia con libri e articoli per quanti intendono effettuare ulteriori letture sull'argomento. Viene anche fornito un elenco di produttori di leghe e di apparecchiature per la saldatura. Questo elenco è solo esemplificativo, poiché è praticamente impossibile fornirne uno completo.

2 PRINCIPI DEL PROCESSO DI SALDATURA

La saldatura è un processo con il quale un metallo o lega di apporto fuso bagna le superfici del giunto e scorre tra di esse in modo da formare un forte legame metallurgico tra il metallo di apporto ed i pezzi da unire. Per ottenere una buona giunzione devono essere soddisfatti parecchi requisiti.

- a) La lega per saldatura deve avere temperatura di fusione inferiore a quella dei metalli da unire. Nel caso della gioielleria, ciò significa che la temperatura di liquidus della lega d'oro da saldatura deve essere inferiore alla temperatura di solidus della lega d'oro dei pezzi da unire. La temperatura di solidus è quella al di sotto della quale la lega è completamente solida. In pratica, nel caso ideale, per evitare la fusione incipiente dei pezzi da unire, dovrebbe esserci una differenza di almeno 50°C tra la loro temperatura di solidus e la temperatura alla quale la lega per saldatura è liquida e scorre.
- b) Anche se con la saldatura non si ha fusione delle superfici dei pezzi da unire, si ha diffusione di atomi attraverso l'interfaccia liquido/solido e si forma un forte legame. La lega per saldatura deve essere chimicamente e metallurgicamente compatibile con il metallo dei pezzi da unire. Per esempio, all'interfaccia non si deve avere formazione di composti intermetallici fragili, che potrebbero causare la rottura del giunto. Fortunatamente, quando si saldano le leghe d'oro, questo problema di solito non si presenta e, grazie ad un certo grado di mutua solubilità, si crea un buon legame.
- c) Affinché possa scorrere tra le superfici dei pezzi da unire, cioè nell'**interstizio del giunto**, la lega per saldatura fusa deve "bagnare" queste superfici nello stesso modo in cui l'acqua bagna completamente una superficie di vetro o di metallo pulita e priva di grassi. In accordo con la teoria classica della bagnabilità (*), un liquido si spande su una superficie formando un angolo di contatto ϕ , come mostrato in fig. 2.1. L'angolo di contatto ϕ è una misura del grado di umettamento. Quando il liquido si raccoglie completamente in una pallina, formando goccioline con $\phi = 180^\circ$, si è in condizioni di bagnabilità nulla. Ciò accade quando si mette dell'acqua su una superficie unta. Se $90^\circ < \phi < 180^\circ$ si ha un certo grado di umettamento, ma il liquido non si espande sulla superficie. Se $\phi < 90^\circ$, si ha umettamento ed il liquido si espande sulla superficie. L'entità dell'allargamento dipende dall'angolo di contatto ed aumenta quando questo diminuisce. Per avere buona bagnabilità le superfici devono essere pulite e libere da ossidi, grassi e sporcizia. Per pulire le superfici, si deve usare un fondente oppure nei forni si deve avere un'atmosfera protettiva, che impedisca l'ossidazione (v. Sezione 4).
- d) In condizioni ideali, la lega per saldatura fusa è risucchiata nell'interstizio del giunto per effetto di una forza detta **attrazione capillare**. Questa può essere osservata immergendo in un contenitore di liquido l'estremità di tubicini di vetro con piccolo diametro interno (fig. 2.2). Se $\phi < 90^\circ$, si vede che il liquido sale all'interno dei tubicini fino ad un livello superiore a quello del liquido nel contenitore. Quanto più piccolo è il diametro del tubo, tanto maggiore è la risalita

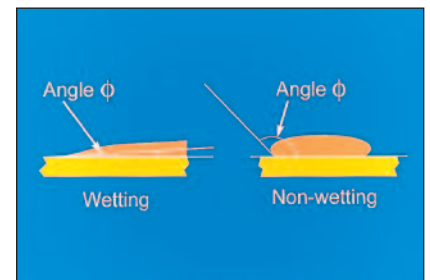


Figura 2.1 Schema che indica le condizioni di buona o cattiva bagnabilità. Si ha umettamento quando l'angolo di contatto ϕ è inferiore a 90°

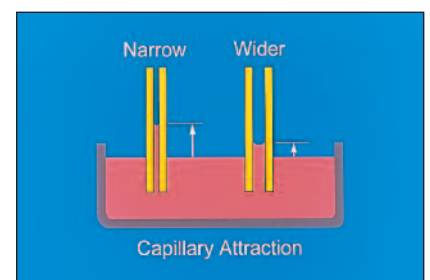


Figura 2.2 Attrazione capillare

del liquido nel tubo. L'intensità dell'attrazione capillare è funzione della tensione superficiale γ_{LV} , della densità del liquido, dell'angolo di contatto ϕ e del diametro del tubo. È facile estendere questa situazione al caso di fare un buon giunto saldato in oggetti di gioielleria o in altri materiali. Il diametro del tubicino corrisponde all'interstizio del giunto, cioè alla distanza tra le superfici dei pezzi da unire. La larghezza dell'interstizio dovrebbe essere compresa tra 0,01 e 0,1 mm. La larghezza dell'interstizio e la lunghezza del giunto sono elementi importanti nella progettazione dei giunti e se ne discuterà nella sezione che segue.

- e) La velocità con cui la lega per saldatura scorre nell'interstizio del giunto dipende dalla sua viscosità, che è una misura della velocità con cui un fluido può cambiare la sua forma. Per esempio, confrontate acqua e melassa quando colano da un cucchiaino. È stato dimostrato che di solito il tempo necessario per riempire un giunto è dell'ordine di 0,1 secondi. Chiunque abbia esperienza di saldatura al cannello, conosce la rapidità con cui la lega per saldatura improvvisamente scorre per riempire l'interstizio del giunto, quando è applicata alla giusta temperatura. Quando la temperatura sale oltre il liquidus della lega per saldatura, viscosità, tensione superficiale e angolo di contatto diminuiscono, facilitando lo scorrimento della lega ed il riempimento del giunto.
- f) È noto che la rugosità delle superfici favorisce lo spandimento e lo scorrimento della lega per saldatura fusa. Si ritiene che questo fenomeno sia causato dalla riduzione dell'angolo di contatto ϕ effettivo e che la rete di sottili canali creata dalla struttura rugosa accresca l'attrazione capillare. È preferibile abraderle le superfici da unire con carta al carburo di silicio (per es. con grana 400), in modo da ottenere un miglior riempimento del giunto, rispetto a superfici lucide. Tuttavia, è chiaro che, quando si scaldano pezzi di gioielleria, ciò può non essere facile da realizzare.

(*) **Nota** - Un liquido si espande e bagna le superfici fino a quando le tensioni interfacciali tra liquido e substrato solido (γ_{SL}), liquido e atmosfera (γ_{LV}) e substrato e atmosfera (γ_{SV}) sono in equilibrio, come mostrato nella fig. 2.1. Queste condizioni sono espresse dall'equazione della bagnabilità: $\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} \cos\phi$, che indica che $\phi < 90^\circ$ corrisponde alla condizione $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$. Questo squilibrio origina la forza motrice per l'umettamento e l'allargamento del liquido sulla superficie. In pratica, l'equazione deve essere modificata a causa della formazione di leghe e ad altre condizioni all'interfaccia, ma per gli orafi ed i produttori di gioielleria non è necessario conoscere questi dettagli.

3 PROGETTAZIONE DEI GIUNTI

Per ottenere un buon giunto saldato, non basta avvicinare due superfici e far scorrere nell'interstizio del giunto una lega per saldatura fusa. Affinché il giunto non sia difettoso ed abbia resistenza sufficiente per lo scopo desiderato, è necessario tener presenti molti particolari, tra cui la larghezza dell'interstizio, la lunghezza e la superficie del giunto e la sua configurazione.

3.1 INTERSTIZIO DEL GIUNTO

L'importanza dell'interstizio del giunto ed il suo effetto sull'attrazione capillare sono stati indicati nella sezione precedente. L'interstizio deve essere sufficiente per permettere al fondente ed ai gas di uscire, spinti via dalla lega che entra, perché un loro intrappolamento indebolirebbe seriamente il giunto. Per questo motivo la progettazione del giunto e l'applicazione della lega dovrebbero essere tali da avere scorrimento della lega fusa in una sola direzione (fig. 3.1). È altrettanto importante che il fondente, l'aria intrappolata ed i gas riducenti (se si usano forni con atmosfera protettiva) possano arrivare facilmente alle superfici del giunto.

Nella fig. 3.2 si vede la variazione della resistenza alla frattura di semplici giunti di testa in funzione della larghezza dell'interstizio. Al decrescere della larghezza, la resistenza aumenta fino ad un massimo, per poi nuovamente decrescere per interstizi molto stretti, probabilmente a causa della difficoltà di ottenere in questo caso un buon riempimento. Si vede che il massimo della resistenza è considerevolmente superiore alla resistenza della lega massiva. Tuttavia, aumentando lo spessore del giunto, la sua resistenza decresce fino a quest'ultimo valore. In effetti, se l'interstizio del giunto è largo, la forza capillare è piccola e la lega per saldatura fusa è semplicemente colata in uno stampo formato dalle superfici da unire. Come già detto, l'interstizio del giunto dovrebbe essere largo da 0,01 a 0,1 mm.

È chiaro che un artigiano o un produttore di gioielleria non possono fare misure così precise e per ottenere un interstizio accettabile devono affidarsi all'abilità ed all'esperienza. Spesso, quando l'insieme è riscaldato, i singoli pezzi sono solo appoggiati uno sull'altro. In questo caso l'interstizio del giunto tenderà ad autoregolarsi, portandosi ad uno spessore ottimale correlato con la tensione superficiale della lega fusa. Analogamente, un accoppiamento delle parti che consenta un facile scorrimento darà di solito la spaziatura richiesta. Lo scopo principale dovrebbe essere di garantire che sia usato solo il quantitativo di lega necessario per riempire completamente il giunto ed evitare difetti. La presenza di fondente intrappolato, di gas, di crepe e di porosità indebolirebbe seriamente il giunto. Se il giunto è senza difetti, la sua reale resistenza può essere di importanza secondaria, poiché di solito la resistenza e la duttilità della lega per saldare sono sufficienti per la gioielleria. Malgrado ciò, anche nella fabbricazione della gioielleria, nei giunti possono e devono essere evitati interstizi spessi. Per facilitare lo scorrimento della lega nell'interstizio del giunto e la formazione di raccordi ben arrotondati, è buona pratica, dove possibile, smussare gli spigoli sui bordi dell'interstizio (fig. 3.3).

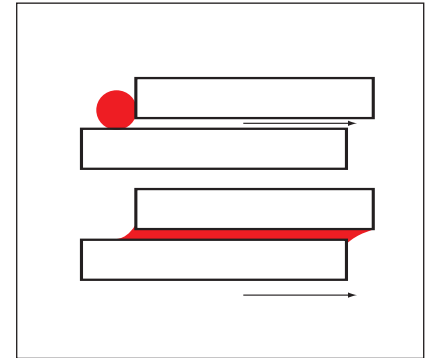


Figura 3.1 Rappresentazione schematica dello scorrimento unidirezionale nell'interstizio del giunto

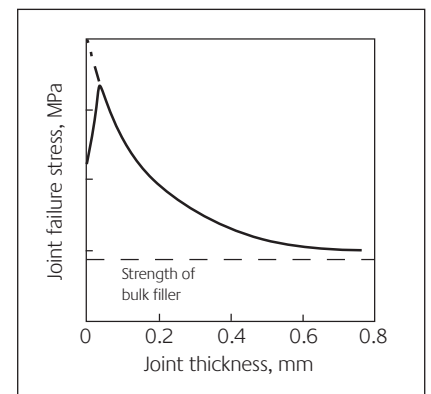


Figura 3.2 Variazione della resistenza alla frattura di giunti di testa in funzione dello spessore dell'interstizio del giunto

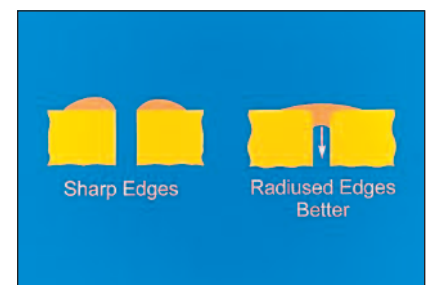


Figura 3.3 Rappresentazione schematica della smussatura dei bordi per facilitare lo scorrimento della lega per saldatura nell'interstizio del giunto

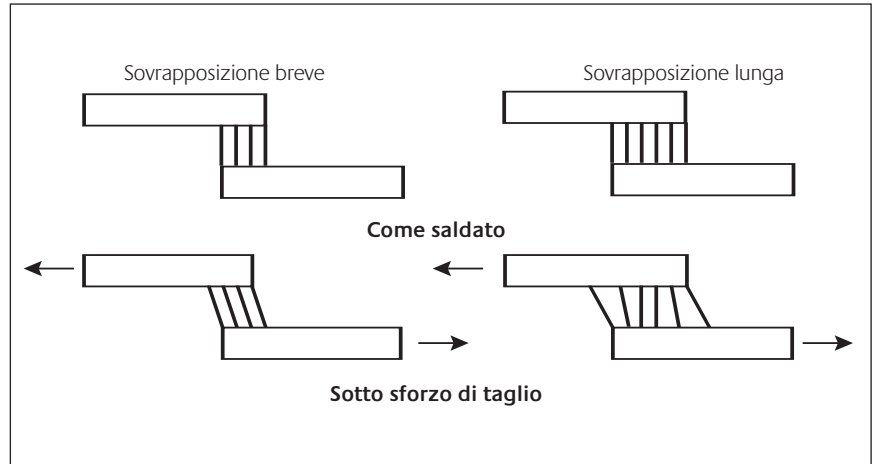


Figura 3.4 Distribuzione degli sforzi in un giunto a sovrapposizione

3.2 LUNGHEZZA ED AREA DEL GIUNTO

Si potrebbe pensare di aumentare la resistenza del giunto, aumentandone la lunghezza e la superficie. Ciò è vero solo fino ad un certo punto, oltre il quale la resistenza non aumenta più in modo proporzionale. Per esempio, se si aumenta oltre il valore limite la lunghezza di un giunto a sovrapposizione, si può avere una diminuzione della resistenza al taglio, poiché gli sforzi sono concentrati alle estremità del giunto e la parte centrale è sottoposta ad uno sforzo molto piccolo (fig. 3.4). Aumentando l'area del giunto oltre un certo valore, aumenta la tendenza a intrappolare gas o a formare porosità. Parte di questa porosità è causata dal ritiro di solidificazione della lega nel giunto.

Fortunatamente questi effetti possono causare più facilmente problemi nei componenti meccanici, per i quali la resistenza è molto più importante e le aree dei giunti possono essere grandi, in confronto ai giunti presenti nella gioielleria.

3.3 CONFIGURAZIONE DEL GIUNTO

Per quanto riguarda la configurazione, il tipo di giunto più debole è il giunto di testa, con due pezzi saldati di testa o ad angolo retto. Tuttavia vi sono parecchi modi per aumentare la resistenza dei giunti, che possono essere considerati nella loro progettazione. Fondamentalmente questi si basano sull'aumento dell'area del giunto e sulla riduzione della concentrazione degli sforzi, ridistribuendo i carichi applicati durante l'uso. Nella fig. 3.5 sono riportate configurazioni tipiche dei giunti. I giunti ad

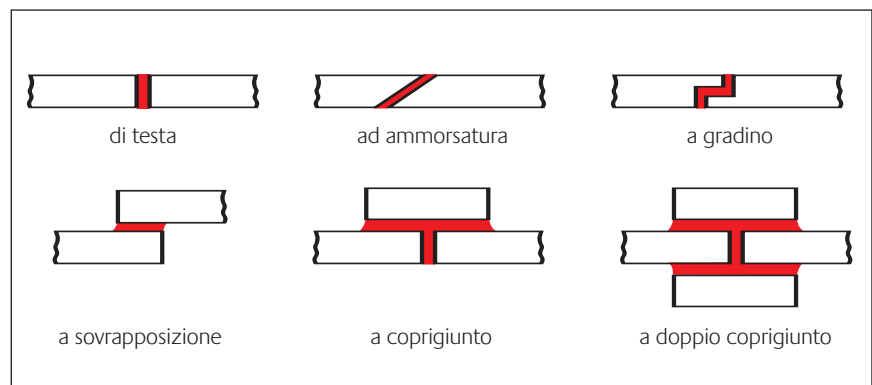


Figura 3.5 Configurazioni tipiche dei giunti

ammorsatura ed a gradino hanno il vantaggio di essere più resistenti dei giunti di testa, pur mantenendo lo stesso spessore e la stessa forma esterna. I giunti a sovrapposizione, a doppia sovrapposizione, a coprigiunto ed a doppio coprigiunto sono molto più resistenti, ma, almeno nel caso della gioielleria, hanno lo svantaggio che spessore, ingombro e peso del giunto aumentano. Si deve raggiungere un compromesso tra l'ottenimento di giunti con resistenza sufficiente per l'uso previsto e la conservazione dell'aspetto attraente del gioiello.

Anche nei giunti in cui le parti sono saldate ad angolo retto, cioè nei giunti a T, si può ottenere un rafforzamento inserendo una parte in un foro o in una scanalatura ricavata nell'altra, come mostrato in fig. 3.6a. Vale la pena di ricordare che anche buoni raccordi possono aumentare resistenza e tenacità (fig. 3.6b). Notare la forma ideale del raccordo: alle estremità del raccordo l'angolo di contatto è prossimo a zero e la sua superficie è concava.

3.4 DISCUSSIONE

La prima reazione degli orafi artigiani e industriali a quanto detto nelle precedenti sezioni sulla progettazione dei giunti potrebbe essere che questi argomenti, anche se sono molto importanti nel caso di componenti meccanici, non interessano molto o non possono essere applicati nella produzione di gioielleria. Questa reazione è dovuta al fatto che, in questo caso, i giunti sono relativamente piccoli, non si possono ottenere con tolleranze strette ed i gioielli devono conservare il loro aspetto attraente, per cui si può pensare che la resistenza meccanica sia di secondaria importanza. Questi argomenti hanno una certa validità, però nella gioielleria, durante l'uso, i giunti si possono rompere perché il consumatore ha avuto la mano un po' troppo pesante o perché il giunto era troppo debole per l'uso previsto. Se si fosse studiata meglio la costruzione del giunto, si sarebbero potute evitare queste rotture. I progettisti ed i produttori dovrebbero conoscere bene i fattori che influenzano il controllo della qualità in tutti gli stadi della produzione, compresa la progettazione dei giunti. È chiaro che di solito non è possibile né necessario eseguire misure precise dell'interstizio o dell'area del giunto, ma non si possono ignorare domande come queste:

- come fa la lega da saldatura a scorrere nel giunto?
- La si può far scorrere in una sola direzione, per ridurre il rischio di intrappolare bolle d'aria o fondente?
- È possibile modificare la configurazione del giunto per rafforzarlo senza rendere meno gradevole l'aspetto del gioiello?
- Si possono incorporare nel giunto raccordi di rinforzo?

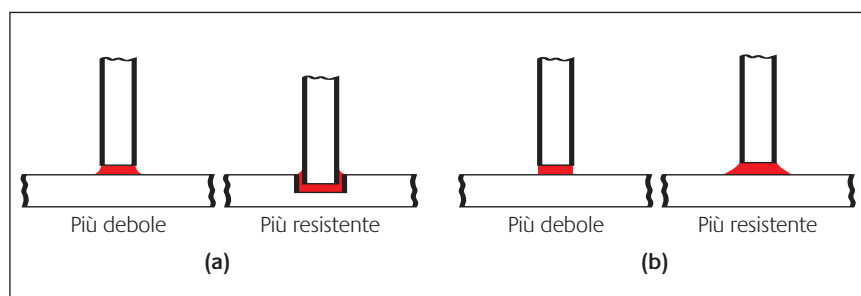


Figura 3.6 Giunti a T

(a) Effetto di rafforzamento ottenuto con l'inserimento in un foro

(b) Effetto di un raccordo concavo

3 PROGETTAZIONE DEI GIUNTI

- Si può spostare il giunto in una zona che disturbi di meno, ottenendo anche una migliore resistenza?

Oviamente ci sono anche altre domande relative agli aspetti pratici della fabbricazione di giunti saldati e di altri tipi di giunto, che si presenteranno nelle prossime sezioni di questo manuale e delle quali progettisti e produttori dovrebbero tener conto.

4 IL PROCESSO DI SALDATURA

Dopo aver esaminato la progettazione del giunto, si devono considerare gli aspetti pratici del processo di saldatura, tra cui:

- forma della lega da usare;
- come tenere i componenti al loro posto, con attrezzi, piastrine di fissaggio, ecc.;
- modo di riscaldamento del giunto fino alla temperatura di saldatura;
- preparazione e pulitura delle superfici del giunto;
- applicazione della lega per saldatura sul giunto;
- possibile necessità di una tecnica di saldatura a più stadi.

Se si vuole ottenere un giunto di buona qualità, tutti gli stadi del processo sono importanti. In questa sezione del manuale sono discussi gli aspetti pratici della saldatura.

4.1 FORME DELLE LEGHE PER SALDATURA

Le leghe per saldatura devono essere scelte in base al colore, alla caratura, all'intervallo di fusione ed alle proprietà meccaniche. In generale, con poche eccezioni, la caratura deve essere uguale a quella dei pezzi da unire ed il colore deve essere il più possibile simile. Questi argomenti ed altri riguardanti la composizione delle leghe per saldatura saranno discussi più in dettaglio nella Sezione 6. Per ottenere buoni giunti, è importante anche la forma della lega usata durante il processo. Con la gioielleria è pratica comune tagliare nastro sottile di lega per saldare in piccoli pezzi, chiamati "paglioni" (paillons), che sono posti tra le superfici da unire o sopra l'interstizio del giunto. Si consiglia di tenere in una soluzione di borace una buona riserva di paglioni, in modo che siano già ricoperti di fondente e pronti per l'uso. Se li si pone tra le superfici da unire, quando la lega fonde, come già detto, le parti da saldare si sistemano in modo da formare un interstizio di spessore adatto.

In alternativa, un giunto ricoperto di fondente può essere riscaldato con un cannello e la punta di un nastro o di un filo di lega per saldare può fondere e scorrere nel giunto con cui è in contatto. È sempre buona pratica riscaldare le parti da unire e fondere la lega per saldare riscaldandola per contatto con le superfici calde. Fortunatamente le leghe d'oro per saldatura hanno di solito buona duttilità e possono essere facilmente trasformate in lamina, nastro o filo.

Vi sono poi le paste per saldatura, con o senza aggiunta di fondenti, che sono sempre più usate e si prestano alla produzione in serie ed a una parziale automazione, i fili con anima di lega per saldatura, usati per produrre catena e lamine, ed i nastri ricoperti di lega per saldatura, usati per pezzi stampati.

La fabbricazione di questi materiali è descritta con maggiori dettagli nella Sezione 5.

4.2 ATTREZZATURE AUSILIARIE E DISPOSITIVI DI FISSAGGIO

Affinché non vadano fuori posto durante la saldatura, le parti da unire devono essere tenute in stretto contatto in una determinata posizione (fig. 4.1). Gli orafi che lavorano al banco si accorgono spesso di non avere abbastanza mani per tenere insieme i pezzi mentre usano il cannello a gas o il cannello ferruminatorio ed applicano la lega per saldatura. In questi casi è necessario legare insieme i

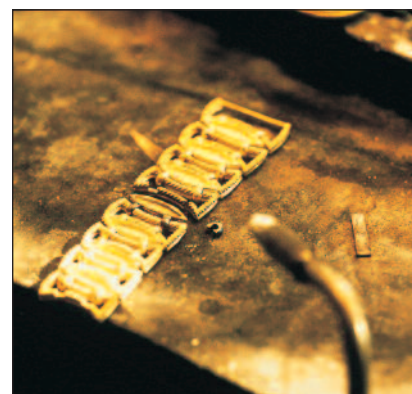


Figura 4.1 Saldatura al cannello di un braccialetto

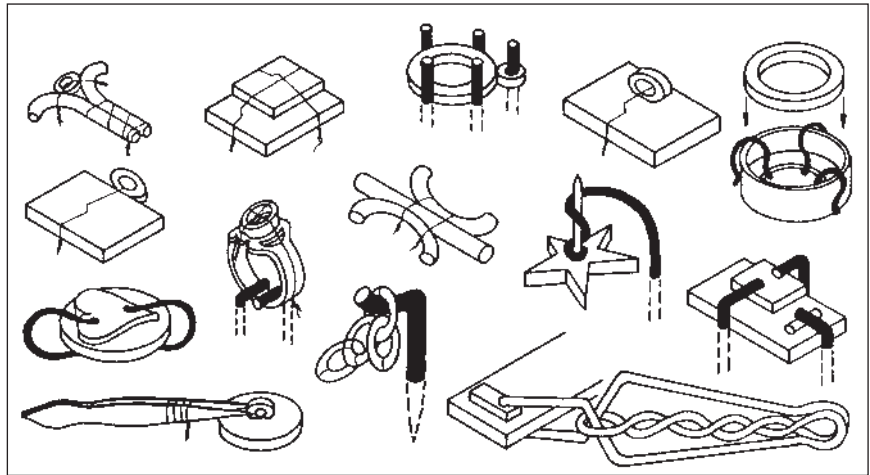


Figura 4.2 Vari tipi di attrezzature ausiliarie e di dispositivi di sostegno. (Per gentile concessione di Murray Bovin, Bovin Publishing, New York 1979)

componenti con un filo o metterli in opportuni dispositivi di fissaggio.

Se li si lega con del filo, si dovrebbe usare filo di ferro calibro 22-26 (diametro 0,71-0,46 mm). È preferibile usare ferro piuttosto che rame o ottone perché è meno probabile che sia bloccato dalla lega da saldatura. Il filo non dovrebbe essere stretto troppo. Si deve tener conto delle differenze di dilatazione tra il filo ed i componenti, altrimenti questi possono piegarsi e deformarsi. Vi è anche il rischio che il filo aderisca al giunto brasato, con la necessità di un supplemento di lucidatura e conseguente aumento di lavoro e di costi di finitura. Questo rischio può essere evitato usando fermagli di acciaio, che tengono i componenti al loro posto senza venire in contatto con la zona del giunto. I fermagli di acciaio offrono il vantaggio di una diffusività termica relativamente bassa, per cui il calore non è facilmente asportato dalla zona riscaldata, inoltre si può evitare il contatto diretto tra questi e la fiamma del cannello e li si può riutilizzare. Uno svantaggio invece è che devono essere progettati e costruiti appositamente per specifiche operazioni di saldatura, per cui sono poco interessanti per piccole produzioni. Nella fig. 4.2 si vedono numerosi sistemi di fissaggio e di sostegno. Nella fig. 4.3 si vede la “terza mano”, cioè un paio di pinzette a molla con punte resistenti al calore incernierate rigidamente su una base. Altri metodi includono il fissaggio dei componenti su basi appoggiate sul banco, come un cartone refrattario che rifletta il calore, un blocco di carbone di legna, un mattone tenero o uno stampo di gesso. (Nota: per saldare il platino non si devono usare refrattari a base di carbone o di silice, perché possono reagire con esso, danneggiandolo.)

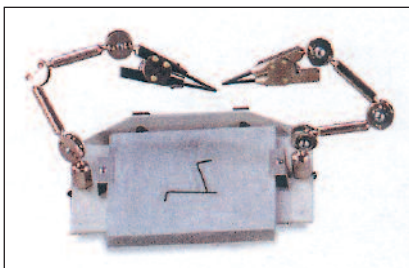


Figura 4.3 Due esempi di “terza mano” come sostegno. (Per gentile concessione di Degussa e Rio Grande)

Un altro metodo è la puntatura, ossia usare punti di saldatura, che è più adatta per tenere insieme componenti più pesanti durante il riscaldamento. Con questa tecnica due pezzi di gioielleria sono fissati insieme tra gli elettrodi di una saldatrice: il passaggio di una corrente elettrica causa riscaldamento o fusione localizzati. Il riscaldamento è dovuto alla resistenza al passaggio della corrente elettrica attraverso l'interfaccia, per cui questo processo è indicato come “saldatura a resistenza”. La puntatura permette di tenere stabilmente insieme le parti, formando un giunto abbastanza resistente per le manipolazioni successive. Sul mercato vi sono parecchi tipi di saldatrici. È stato riferito che quelle con alimentatori unipolari a scarica di condensatore producono un impulso di energia rapido e ben dosato, che è ideale per la puntatura. Gli svantaggi sono che questo metodo richiede una specifica regolazione dell'apparecchiatura per ogni

configurazione del giunto da saldare e vi è il rischio che gli elettrodi danneggino la superficie della gioielleria, per cui è richiesta manodopera ben addestrata.

Le piastrine di fissaggio, come quelle di grafite, sono facili da usare e richiedono poco addestramento del personale. Esse sono particolarmente adatte per la saldatura in forno e danno risultati eccellenti.

Ci sono due tipi di piastrine di fissaggio: quelle morbide e quelle dure. Quelle morbide possono essere preparate in breve tempo e con poca spesa. I componenti sono premuti contro di esse e vi formano una impronta che li tiene a posto. In questo modo le piastrine sono subito pronte per l'uso (fig. 4.4). Queste piastrine sono particolarmente adatte per pezzi unici e per piccole produzioni, però sono molto morbide e riutilizzandole le tolleranze dimensionali delle impronte si deteriorano rapidamente. La perdita di controllo dimensionale può essere in parte compensata usando piastrine "secche induribili". Anche in questo caso i modelli sono premuti contro la piastrina, che è poi spennellata con un liquido indurente specifico ed è riscaldata per indurirla. Queste piastrine induribili sono più costose, ma possono essere riutilizzate molte volte, per cui alla fine sono più convenienti.

Quando sono richieste strette tolleranze dimensionali, è meglio usare piastrine di grafite lavorate con macchine CNC tridimensionali, che durano a lungo. Sono anche più versatili, perché si può tener conto della dilatazione termica bidimensionale dei pezzi da unire. Le piastrine doppie con coperchio, con fori e spine di riferimento, permettono di saldare pezzi ad angolo retto e di saldare a più stadi con un solo passaggio nel forno (fig. 4.5). Le piastrine lavorate a macchina sono costose e lunghe da preparare, ma per grossi volumi di produzione sono molto convenienti.

4.3 METODI DI RISCALDO

Il metodo tradizionale usato per il riscaldamento era il cannello ferruminatorio, con il quale si soffiava aria attraverso la fiamma di una candela o di una lampada a petrolio (fig. 4.6). Per dirigere la fiamma nel punto voluto e controllare l'intensità del calore, è richiesta una considerevole abilità.

Uno sviluppo successivo è stato un cannello a bocca nel quale il gas era introdotto da un tubo laterale ed era poi acceso. Soffiando nel tubo rettilineo si ottiene una fiamma pulita e calda.

L'avvento di gas ad alto potere calorifico ha portato alla invenzione di cannelli aria-gas e ossigeno-gas. Questi sono progettati per funzionare con un piccolo eccesso di ossigeno, per dare una fiamma precisa, calda e brillante che può essere diretta con grande precisione. I cannelli possono avere ugelli intercambiabili. Le dimensioni dell'ugello devono essere adatte per il rapporto tra gas combustibile e ossigeno e per le dimensioni richieste per la fiamma (fig. 4.7). I gas combustibili più usati sono idrogeno, metano, propano, butano e acetilene. Con l'aria compressa si ottengono temperature più basse di quelle ottenibili con l'ossigeno, poiché l'aria contiene 80% di azoto (inerte), che deve essere riscaldato dalla fiamma (tabella 4.1). In pratica, la temperatura del pezzo in lavorazione sarà alquanto più bassa di quella della fiamma, poiché le leghe d'oro conducono bene il calore. L'oro e le leghe d'oro hanno alta conduttività o, più correttamente, diffusività termica. Ciò significa che, nel caso di componenti massicci e di giunti estesi, per raggiungere le temperature volute, si devono apportare grandi quantità di calore in poco tempo. La diffusività termica (Q) è definita come la conduttività termica (k) divisa per il prodotto tra il calore specifico (c) e la densità (ρ) del metallo o della lega considerati. È importante controllare il rapporto gas combustibile/ossigeno, ricordando che l'ossigeno



Figura 4.4 Piastrina di fissaggio morbida. (Per gentile concessione di N. Krohn, Krohn Industries Inc.)



Figura 4.5 a Piastrina di grafite lavorata con macchina CNC



Figura 4.5 b Piastrina con componenti collocati su di essa e dosatore di pasta per saldare



Figura 4.5 c Piastrina di grafite doppia con coperchio, con fori di riferimento sul coperchio, pronta per la saldatura. (Per gentile concessione di N. Krohn)

Tabella 4.1 Temperature teoriche approssimate (°C) di fiamme di gas combustibile con ossigeno o aria

Combustibile	Ossigeno	Aria
Idrogeno, H ₂	2810	2150
Gas naturale, CH ₄ + C ₂ H ₆	3100	2000
Propano, C ₃ H ₈	3185	2100
Butano, C ₄ H ₁₀	3150	1900
Acetilene, C ₂ H ₂	3270	2320



Figura 4.6 Cannello ferruminatorio e fiamma di candela di cera

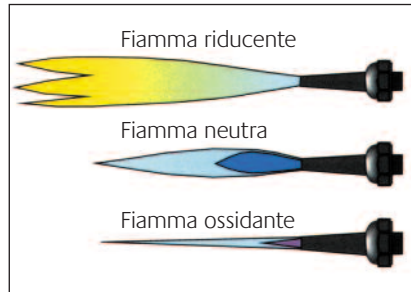


Figura 4.8 Aspetto dei tre tipi di fiamma



Figura 4.9 Microsaldatrici (Per gentile concessione di Sherwood Scientific Ltd., Cambridge)

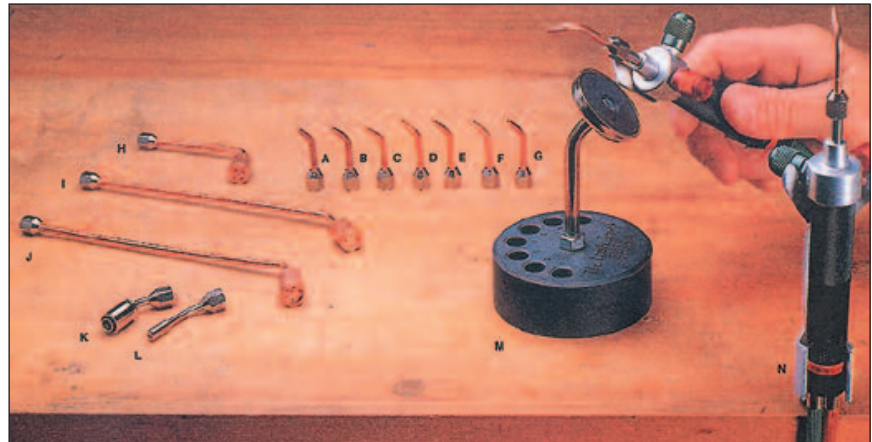


Figura 4.7 Cannello a gas-aria, con ugelli intercambiabili. (Per gentile concessione di Rio Grande)

può essere puro oppure contenuto nell'aria compressa. Se il rapporto tra i volumi è tale che il rapporto tra le molecole è quello giusto per una combustione completa, per esempio $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, la fiamma è neutra. Con un eccesso di ossigeno si ha una fiamma ossidante e con un eccesso di gas combustibile si ha una fiamma riducente (fig. 4.8). Gli ori ad alta caratura non sono danneggiati dal riscaldamento con una fiamma leggermente ossidante, ma le leghe a caratura più bassa richiedono condizioni neutre o leggermente riducenti, per evitare l'ossidazione dei componenti non preziosi.

Se non si controlla bene la pressione dell'ossigeno o dell'aria, le fiamme piccole tendono a staccarsi dalla punta del cannello ed a spegnersi. Per regolare la portata, può essere necessario avere un secondo regolatore per la bassa pressione, che funzioni a circa 5-15 kPa (1-2 psi). Di solito i gas combustibili sono forniti in bombole. I microcannelli a butano, con cartucce di ricambio, sono completamente autonomi e sono molto comodi da usare. **[Attenzione!]** Non usate mai con l'ossigeno cannelli che siano stati usati in precedenza con aria compressa, se non dopo aver sostituito il tubo dell'ossigeno ed aver installato un regolatore di pressione per ossigeno. Piccole tracce di olio e di grasso lasciate dall'uso con aria compressa, in presenza di ossigeno possono esplodere con violenza].

La micro-saldatrice (indicata talora come "saldatrice ad acqua") è una unità portatile, che non richiede una sorgente esterna di combustibile (fig. 4.9). L'acqua di una soluzione elettrolitica, per esempio con idrossido di potassio, è scissa per elettrolisi in idrogeno e ossigeno. Questi sono accumulati in serbatoi separati e possono essere inviati a bassa pressione in bruciatori con ugelli calibrati. Le dimensioni della fiamma possono essere regolate con grande precisione, in modo da eseguire lavori delicati come la saldatura di maglie di catena e la riparazione di graffette oppure al contrario per saldare grossi oggetti. La fiamma ossidrica è di solito neutra e, malgrado la sua elevata temperatura, è difficile da vedere. Spesso si fa in modo che il gas raccolga piccole quantità di vapor d'acqua e di sostanze organiche volatili, come alcool metilico o acetone, per colorare la fiamma e renderla leggermente riducente.

Il ciclo di saldatura deve essere reso il più possibile breve, per i seguenti motivi:

- ridurre il rischio di "esaurire" il fondente che impedisce l'ossidazione. Anche così può essere necessario aggiungere altro fondente, specialmente se l'area del giunto è grande.
- Il surriscaldamento delle parti aumenta il rischio di ossidazione, distorsione e fusione degli oggetti da saldare.

- La volatilizzazione dei componenti della lega basso fondenti e con alta tensione di vapore può portare alla formazione di porosità sulla superficie ed anche all'interno della saldatura.

All'inizio la zona del giunto deve essere preriscaldata con una fiamma larga. Per giudicare dall'aspetto del fondente e del metallo quando il giunto ha raggiunto la temperatura adatta, occorre esperienza. Poi si regola la fiamma in modo da ottenere un riscaldamento localizzato. Quando la lega per saldare scorre, la si deve spostare lungo il giunto con la fiamma, in modo che vada verso la parte più calda. Alla fine si toglie la fiamma e la si spegne.

I metodi di riscaldamento descritti, anche se sono ancora molto usati e continueranno ad esserlo, hanno lo svantaggio di richiedere una certa abilità dell'operatore, poiché il controllo e la ripetibilità della temperatura sono difficili.

Il costo della manodopera è alto, specialmente nel caso di grandi produzioni. Si può ottenere un certo grado di automazione facendo passare i pezzi attraverso una serie di bruciatori su un nastro mobile o su un piatto rotante. Per risolvere questo problema, i produttori tendono ad orientarsi verso la saldatura in forno, però il volume della produzione deve essere abbastanza alto da giustificare l'investimento di capitale necessario.

La possibilità di ottenere giunti di buona qualità, unita alla riduzione dell'abilità richiesta per gli operatori, dei costi di manodopera e dei costi di finitura, permette di migliorare l'efficienza e la produttività. I forni possono essere di tipo discontinuo o, preferibilmente, di tipo continuo a nastro (fig. 4.10). I pezzi, con la lega per saldare al suo posto, vengono messi direttamente sul nastro (fig. 4.11) oppure su piastrine di fissaggio, che a loro volta sono collocate sul nastro. I pezzi attraversano la zona riscaldata a temperatura controllata e poi, prima di essere estratti all'altra estremità, passano in una camera raffreddata con una camicia d'acqua. Oltre al controllo della temperatura, l'altro grande vantaggio è che, mantenendo nel forno un'atmosfera protettiva, si impedisce l'ossidazione dei pezzi. Ciò è necessario in particolare quando si salda gioielleria a bassa caratura, poiché i metalli non preziosi tendono a ossidarsi. Di solito si usa un'atmosfera di ammoniaca dissociata, fornita da un generatore a parte, presente nell'officina. L'ammoniaca (NH_3) viene dissociata nei suoi componenti, 25% azoto e 75% idrogeno. Questa atmosfera è molto secca (punto di rugiada circa $\sim -30^\circ\text{C}$). L'azoto è un gas inerte e l'idrogeno crea le condizioni riducenti che impediscono l'ossidazione. Altre atmosfere protettive simili sono il gas endotermico, ottenuto per combustione di gas liquido con aria in un opportuno generatore, oppure una miscela di 80-90% di azoto con 20-10% di idrogeno fornita in bombole. Queste ultime atmosfere tendono ad avere un contenuto di vapor d'acqua più alto. La saldatura in queste atmosfere permette di ottenere pezzi brillanti ed esenti da ossidi, diminuendo o eliminando la necessità di successive puliture e lucidature. Di solito l'uso di un'atmosfera protettiva permette di evitare l'uso di fondenti: l'accumulo di residui di fondente può abbreviare la vita utile dei forni. L'unica eccezione si ha nel caso in cui è difficile espellere i residui di aria intrappolata tra i pezzi da unire.

Per garantire buoni risultati, è essenziale regolare bene i parametri operativi del forno. La temperatura raggiunta dai pezzi non dipende solo dalla temperatura del forno, ma anche dalla velocità con cui questi lo attraversano, cioè dalla velocità del nastro. N. Krohn consiglia di regolare inizialmente la temperatura del forno ad un valore di 38°C superiore alla temperatura di scorrimento della lega per saldare. Se si usano piastrine di fissaggio, l'incremento di temperatura dovrebbe essere portato a 66°C , per tener conto dell'inerzia termica delle piastrine. Allo stesso modo si può cominciare con una velocità



Figura 4.10 Tipico forno continuo a nastro.
(Per gentile concessione della IECO srl, Italia)



Figura 4.11 Saldatura di pezzi stampati su nastro trasportatore in un forno continuo.
(Per gentile concessione della IECO srl, Italia)

del nastro di circa 25 cm/min, o di 20 cm/min nel caso delle piastrine. Si devono fare delle prove, regolando i parametri in base alla bontà delle saldature ottenute. Se si usano piastrine, sia nelle prove che nella produzione si devono far passare prima delle piastrine vuote, in modo che il forno possa compensare le perdite di calore causate da esse. Pezzi e giunti grandi dovranno restare più a lungo nella camera di riscaldamento. Ricordatevi di registrare con esattezza tutte le decisioni prese per la temperatura e la velocità del nastro, per ogni tipo di saldatura e per ogni forno, poiché non vi sono due forni assolutamente identici. Controllate ad intervalli regolari i dispositivi di misura della temperatura (le termocoppie), includendo sia quelle del forno che quelle più lunghe, che arrivano fino al nastro trasportatore, per accertare che venga raggiunta la temperatura di scorrimento della lega per saldare. La qualità dell'atmosfera del forno può essere controllata con un misuratore del punto di rugiada o con una sonda per ossigeno, che misura il reale contenuto di ossigeno di un'atmosfera.

4.4 PREPARAZIONE E PULIZIA DELLE SUPERFICI DEL GIUNTO

È essenziale che la lega fusa possa bagnare il giunto e spandersi nell'interstizio. Perciò, se si vogliono ottenere buone saldature, è importante curare la pulizia e la preparazione delle superfici.

Per prima cosa, si dovrebbero eliminare oli e grassi con un adatto solvente sgrassante, badando che vi siano una aspirazione ed una ventilazione sufficienti, affinché gli operatori non respirino i vapori tossici dei solventi. Per garantirne una eliminazione completa, questa operazione è spesso eseguita in vasche con ultrasuoni.

Le pellicole di ossido e la sporcizia possono essere eliminate con un bagno di decapaggio acido, come acido solforico al 10%, preparato aggiungendo una parte di acido solforico concentrato in nove parti di acqua. **[Attenzione! Aggiungere sempre lentamente l'acido nell'acqua. Aggiungendo acqua nell'acido si produce una grande quantità di calore, poiché la reazione è esotermica, e si può avere ebollizione, con grave pericolo per l'operatore].**

In alternativa, queste pellicole possono essere eliminate con una lima o con carta smerigliata. Per impedire ulteriori contaminazioni da sudore o da grassi, è bene che l'operatore indossi guanti di cotone bianchi.

Se si deve eseguire la saldatura al banco, le parti vengono riscaldate all'aria e vi è il problema dell'ossidazione superficiale dei metalli non preziosi presenti nella lega, in particolare con le leghe a bassa caratura. Le pellicole di ossido ed i residui carboniosi possono essere eliminati con i fondenti, che sono composti chimici che puliscono le superfici del giunto sciogliendo gli ossidi o penetrando sotto di essi per poi staccarli. Il fondente forma poi uno strato protettivo sulla superficie, impedendo una ulteriore ossidazione durante il riscaldamento. Esso facilita anche l'umettamento delle superfici da parte della lega fusa, che penetra nell'interstizio scacciando il fondente. Il fondente deve essere fuso e attivo prima che la lega da saldatura fonda e deve rimanere tale finché questa non sia solidificata.

I più comuni fondenti per la saldatura dell'oro sono basati su borace (tetraborato sodico $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), che è fluido sopra 760°C. Questi sono di solito sotto forma di coni, che vengono macinati con acqua o con una soluzione leggermente detergente, in modo da formare una pasta, che è poi applicata con un pennello o con una bacchetta sulla zona del giunto e sul paglione di lega per saldare, se lo si usa, prima del riscaldamento. All'inizio si riscalda dolcemente per permettere all'acqua della pasta di bollire senza fare

spruzzi. Quando la temperatura sale, il fondente diventa bianco latte e l'acqua di cristallizzazione del borace evapora. Durante questo processo il fondente tende a formare bolle e può darsi che non ricopra completamente la zona del giunto. Ciò può richiedere l'aggiunta di altro fondente ed un cambiamento di direzione della fiamma del cannello. Talora si usa vetro di borace "fuso", che è stato riscaldato eliminando l'acqua di cristallizzazione e fondendolo, in modo da ottenere una massa vetrosa. Questa è macinata, formando una polvere, che è poi mescolata con alcool ed è usata come fondente. Alla temperatura di saldatura il fondente deve essere fuso, trasparente e attivo. Quando si usano leghe per saldatura a bassa caratura, può essere necessario usare un fondente con temperatura di fusione più bassa e maggior fluidità. Per questo motivo si trovano in commercio fondenti adatti per l'uso in determinati intervalli di temperatura di saldatura. Questi contengono borace o tetraborato di potassio, acido bórico, bifluoruro di potassio e, talora, fluosilicato di potassio. I sali di potassio sono usati al posto di quelli di sodio per evitare il bagliore giallo della fiamma del cannello. I fluoruri abbassano l'intervallo di fusione del fondente e ne migliorano anche l'azione. Come già detto, in generale per la saldatura in forno non si usano fondenti, perché possono danneggiare il forno.

Di solito i residui di fondente sono solubili in acqua e talora possono essere asportati temprando il pezzo saldato in acqua, dopo la solidificazione della lega. Per facilitare l'eliminazione dei residui, può essere necessario spazzolare dolcemente il giunto. È importante eliminare i residui di fondente, poiché di solito questi sono corrosivi, particolarmente per le leghe a bassa caratura. Gli ossidi che possono essersi formati sulle zone non protette possono essere rimossi con l'immersione in un bagno di acido solforico al 10%, seguita da un risciacquo a fondo in acqua. Se ci fossero delle zone chiuse, che possono intrappolare l'acido di decapaggio, può essere meglio eseguire un primo risciacquo in una soluzione acquosa di soda da bucato (carbonato sodico), per neutralizzare l'acido. **[Attenzione! Non immergete mai gioielleria con pietre porose in un bagno di decapaggio o in una soluzione di soda].**

Per eliminare i residui di fondente, si sta diffondendo l'uso di vasche di pulitura a ultrasuoni. Gli ultrasuoni producono onde d'urto che rompono rapidamente le pellicole superficiali in piccoli frammenti che vengono asportati, anche dalle fessure. Recentemente sono apparse sul mercato pulitrici a getto di vapore, che è emesso sotto una pressione di 1,4-4,5 bar da un serbatoio di acqua calda usando una valvola a mano o a pedale. Si dovrebbe usare acqua deionizzata, poiché l'acqua di rubinetto quando evapora può lasciare residui.

4.5 APPLICAZIONE DELLA LEGA PER SALDATURA SUL GIUNTO

È stato detto che si deve porre attenzione al modo in cui il fondente e la lega da saldatura fusi scorrono nell'interstizio del giunto. Se si vogliono ottenere saldature di buona qualità, è importante evitare l'intrappolamento di fondente e di aria e la porosità. Ciò si ottiene più facilmente facendo in modo che lo scorrimento sia unidirezionale e che il fondente scorrendo spinga via davanti a sé l'aria ed i gas del cannello e sia poi seguito dalla lega fusa, che a sua volta spinge via il fondente. Quando possibile, si dovrebbe scaldare il giunto in modo che la lega scorra verso la parte più calda, altrimenti potrebbe solidificare prematuramente, formando un giunto difettoso. Se la saldatura è effettuata in forno senza fondente, la lega fusa deve pur sempre scorrere in modo tale che non vi sia intrappolamento di gas dell'atmosfera protettiva.

I metodi di applicazione della lega da saldatura includono:

- collocamento di paglioni con un sottile rivestimento di borace sopra l'interstizio del giunto e applicazione del calore fino a quando la lega scorre dentro il giunto da un lato. In alternativa, vi sono casi in cui i paglioni sono collocati tra le superfici del giunto. In questo caso la lega dovrebbe scorrere verso l'esterno in tutte le direzioni, dal centro verso il bordo.
- Applicazione di "polvere", ottenuta limando la lega per saldatura. La polvere può essere miscelata con il fondente sotto forma di pasta cremosa e posta sul giunto usando un pezzo di filo appiattito. Questo metodo è usato per lavori delicati.
- Riscaldamento del giunto con fondente finché si raggiunge la temperatura in cui il fondente è limpido e scorre. Si avvicina quindi al giunto l'estremità di un filo o di un nastro di lega, che a contatto con il pezzo dovrebbe fondere e scorrere.
- Con un dosatore mettere un certo quantitativo di pasta di lega per saldatura su un lato dell'interstizio del giunto. Le paste di lega per saldatura saranno descritte più dettagliatamente nella Sezione 5.4, ma si può già dire che sono fornite con o senza aggiunta di fondente, secondo che la saldatura è eseguita all'aria o in un forno con atmosfera protettiva.
- La saldatura per strofinamento è usata per unire superfici grandi e piane, come cerniere e fermagli di spille. Una superficie è coperta di fondente e la lega è posta vicino ad un bordo: la lega fondendo scorre attraverso la superficie piana, che poi viene pulita. L'altra superficie è coperta di fondente e poi le due superfici sono fissate una contro l'altra e l'insieme viene riscaldato fino a completamento della saldatura.

Spesso accade che sia necessario impedire alla lega fusa di scorrere in zone dove non è desiderata. Ciò si ottiene spennellando su queste zone un agente di arresto della lega. Si deve aver cura di non introdurre questi prodotti nell'interstizio del giunto, perché impedirebbero l'umettamento da parte della lega. Per tradizione, per questo scopo si usano dei "rossetti" per gioiellieri con acqua o alcool denaturato con metanolo, che però non sono del tutto soddisfacenti, perché possono staccarsi e non proteggono dall'ossidazione. Vi sono informazioni favorevoli sull'uso di grafite colloidale sospesa in alcool e silice colloidale. Dopo può essere necessario togliere i residui con un lavaggio con ultrasuoni. Krohn ha trovato che per la saldatura in forno funziona bene il latte di magnesia (carbonato di magnesio), che può essere tolto con un risciacquo con acqua calda senza che restino segni visibili sulle superfici. In commercio si trova un gran numero di prodotti.

4.6 SALDATURA IN STADI SUCCESSIVI

Pezzi di gioielleria di forma complicata possono contenere più saldature. In questo caso le saldature eseguite per prime possono fondere quando si fanno quelle successive. Questa difficoltà è superata con la saldatura a stadi successivi, con la quale le prime saldature sono eseguite con una lega con temperatura di fusione più alta e le altre con leghe che fondono a temperatura via via più bassa. Per descrivere le leghe per saldatura di un particolare colore e caratura, sono usati i termini "molto scorrevole", "scorrevole", "media", "dura", "molto dura", che nell'ordine corrispondono a temperature di fusione crescenti. La scelta di usare i termini "dura" e "molto dura" non è da considerare felice, perché non si riferiscono alla resistenza ed alla durezza della lega, ma solo al fatto che fonde a temperatura più alta. Le leghe "molto dure" o leghe "da smaltatura", con alta temperatura di fusione e scorrimento, sono necessarie quando i pezzi devono essere poi smaltati, per evitare che le saldature fondano nel forno di smaltatura.

5 FORME DELLE LEGHE PER SALDATURA

5.1 LAMINA, NASTRO E FILO

Uno dei vantaggi delle leghe d'oro per saldatura è che la loro composizione deriva da quella delle leghe d'oro per gioielleria. Perciò in generale le loro proprietà meccaniche, come resistenza, tenacità, duttilità e lavorabilità, sono simili. Queste leghe possono essere colate in lingotti ed essere laminate o trafilate con i metodi convenzionali, anche se può essere necessario adattare le pratiche di lavorazione e ricottura. Come già detto, lamine e nastri possono essere tagliati in piccoli pezzi quadrati o rettangolari, chiamati pagliani, che vengono rivestiti di fondente e sono poi collocati a mano sopra l'interstizio del giunto o tra le superfici da unire. Allo stesso modo nastro e filo possono essere portati in contatto con l'interstizio del giunto dopo che il fondente è fuso e la zona del giunto è abbastanza calda per fondere la lega per saldare e permetterle di scorrere. Per lavori delicati, le leghe d'oro per saldatura sono usate anche sotto forma di "polvere", ottenuta limando lamine o bacchette di lega. La limatura può essere classificata in base alla granulometria richiesta per l'uso specifico. Si consiglia di mettere la limatura in una coppetta e mescolarla con fondente e acqua, per formare una pasta cremosa, che è applicata sul giunto con un pezzo di filo appiattito o una bacchetta.

5.2 LAMINA E NASTRO RICOPERTI DI LEGA PER SALDATURA

Queste sono strutture composite, in cui un sottile strato di lega d'oro per saldatura ricopre una faccia di una lamina o un nastro di una lega d'oro per gioielleria, che di solito ha colore simile e la stessa caratura, per conformarsi alle regole per la marchiatura. Lo strato di lega da saldatura è applicato o con saldatura per diffusione, in un forno con atmosfera protettiva, o mediante saldatura per laminazione, con la quale lunghi nastri di lega per saldare e di lega per gioielleria sono saldati insieme sotto alta pressione in un laminatoio (saldatura a pressione). Il nastro composito è poi ulteriormente laminato fino allo spessore voluto. Di solito lo spessore dello strato di lega per saldare è il 5-15% dello spessore totale del nastro composito. Questo prodotto è adatto per forti produzioni, in cui pezzi stampati da nastro devono essere saldati su lamine piane di sostegno, formate dal composito (fig. 5.1). I pezzi stampati sono appoggiati sul lato ricoperto di lega per saldatura e l'insieme è fatto passare in un forno continuo a nastro con atmosfera protettiva. La lega per saldatura è risucchiata per capillarità dalla lamina di rinforzo verso il giunto (fig. 5.2). Normandean ha descritto dettagliatamente il processo di fabbricazione del nastro ricoperto di lega per saldatura.

L'uso di nastro ricoperto di lega per saldatura presenta lo svantaggio che, se si ricicla il rottame in fabbrica, la presenza nello strato di ricopertura di elementi come zinco, stagno e indio, che abbassano il punto di fusione, ha un effetto sfavorevole sulla qualità delle leghe per gioielleria preparate con questo materiale.

5.3 FILO CON ANIMA DI LEGA PER SALDATURA

Questo prodotto è adatto per fabbricare catena a maglie saldate. Si prepara una billetta cilindrica colata di lega d'oro praticandovi un foro assiale. In alternativa si può usare un tubo colato in continuo, lavorandone la superficie interna, in modo da

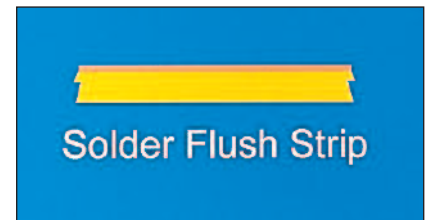


Figura 5.1 Schema del nastro ricoperto con lega per saldatura

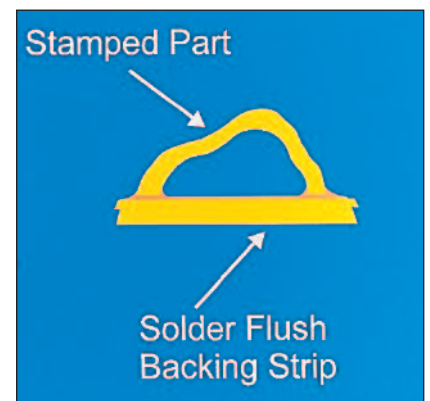


Figura 5.2 Schema di un pezzo stampato e saldato usando nastro ricoperto di lega per saldatura

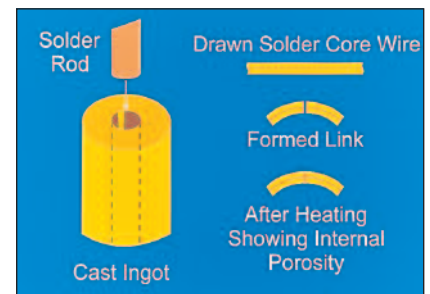


Figura 5.3 Schema della fabbricazione di filo con anima di lega per saldatura per la produzione di catena

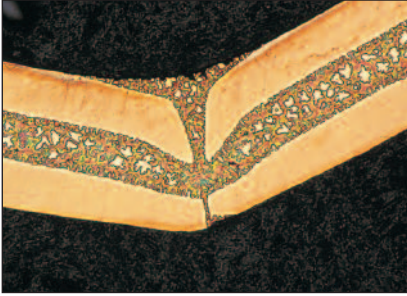


Figura 5.4a Micrografia della sezione longitudinale di una maglia di catena in oro a 14 K, saldata con filo con anima di lega per saldatura: giunto buono

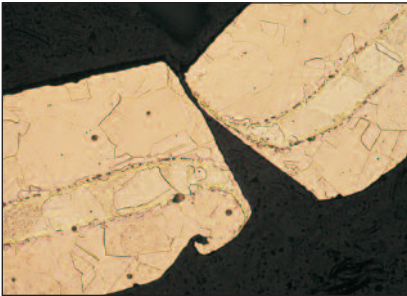


Figura 5.4b Giunto cattivo, a causa della sbavatura del filo tagliato

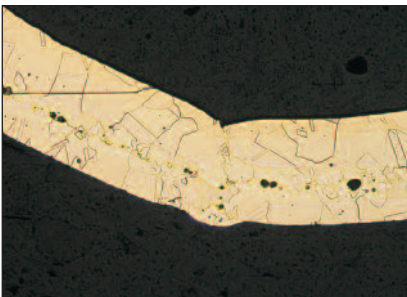


Figura 5.4c Giunto che presenta porosità nell'anima di lega per saldatura. (Per gentile concessione di Cookson Precious Metals Ltd.)

renderla pulita e adatta allo scopo. Si inserisce poi nel foro o nel tubo un cilindro di lega per saldatura ed il pezzo composito è laminato e poi trafilato, in modo da ottenere un prodotto con anima di lega per saldatura per produrre catena (fig. 5.3). Il rapporto tra il diametro dell'anima ed il diametro esterno è fissato all'inizio e viene conservato in tutte le fasi della laminazione e della trafilatura. Si devono rispettare le procedure di lavorazione e ricottura, per evitare che l'anima interna si fratturi per eccessivo incrudimento. L'anima si salda alla camicia esterna per saldatura a pressione, accompagnata da diffusione durante le ricotture.

Nella successiva lavorazione della catena, la lega per saldatura esce per capillarità e si porta nell'interstizio dei giunti delle maglie della catena, per formare le saldature.

Per ottenere un buon flusso della lega durante la saldatura, si deve porre attenzione alla progettazione dell'interstizio del giunto. Nelle condizioni ideali, le estremità del pezzo di filo sono tagliate in modo che combacino per formare la maglia della catena e si ottiene una saldatura di testa piana, virtualmente senza interstizio (fig. 5.4 a). Se le estremità da unire non sono tagliate di netto, ma sbavate, perché la cesoia è poco tagliente, può accadere che la lega per saldatura non riesca a scorrere nell'interstizio del giunto (fig. 5.4 b). La piccola quantità di porosità che si forma al centro del filo non provoca riduzioni apprezzabili della resistenza ed è racchiusa dentro le maglie (fig. 5.4 c).

5.4 PASTA DI LEGA PER SALDATURA

Negli ultimi 30 anni vi è stato un progresso molto importante, che avvantaggia sia gli artigiani che lavorano al banco, sia i produttori in grande serie, cioè l'invenzione delle paste di lega per saldatura. Queste paste sono miscele omogenee di polvere molto fine di lega d'oro per saldatura con un legante organico e possono contenere o non contenere un fondente.

La presenza del fondente dipende dal fatto che la saldatura sia eseguita all'aria con il cannello o in forno con atmosfera protettiva: in questo caso il fondente non è richiesto. La pasta è dosata con una siringa in plastica attraverso un ago con diametro interno adatto (fig. 5.5 a).

I requisiti di una buona pasta di lega d'oro per saldatura sono:

- composizione controllata della lega, con caratura, colore e temperatura di lavoro adatti,
- forma e granulometria delle particelle controllate,
- assenza di ossidi,
- deve poter essere conservata a magazzino per almeno un anno,
- possibilità di dosaggio preciso con aghi con diametro interno fino a 0,25 mm.

La polvere di lega per saldatura è prodotta dal fuso mediante atomizzazione con gas in atmosfera protettiva: così la polvere ha composizione omogenea, è esente da ossidi e le particelle sono di forma sferica. Le dimensioni delle particelle sono selezionate con setacci standard, poiché la granulometria deve essere controllata in base alle dimensioni dell'ago ed al tipo di applicazione. Il legante è formato da sostanze organiche, che sono stabili per lungo tempo e si volatilizzano al riscaldamento, lasciando una quantità minima o nulla di residui. La viscosità della pasta deve essere compatibile con l'uso e con la sua stabilità durante la conservazione. Nelle paste da usare per saldatura con cannello o a induzione con bobina ad alta frequenza in un impianto automatico è aggiunto del fondente. Come

già detto, nel caso di riscaldamento in forno non è richiesto fondente, poiché l'atmosfera protettiva evita l'ossidazione.

Un importante produttore può fornire una vasta gamma di paste per saldatura in lega d'oro:

- da 8 a 22 K con colore giallo, bianco e rosa,
- temperatura di lavoro da “molto scorrevole” a “dura”,
- con o senza fondente,
- percentuali diverse di polvere di lega nelle paste: 65-78% per saldatura al cannello e 89, 91 o 94% per saldatura in forno con atmosfera protettiva,
- due differenti granulometrie per aghi con diametro interno minimo di 0,4 o 0,25 mm.

Con poche eccezioni, le paste per saldatura sono senza cadmio, per cui nella saldatura al banco non presentano problemi di tossicità. Per identificare le varie paste in base ai parametri sopra elencati si usa un sistema di codici, per cui si può scegliere la formulazione adatta per una particolare applicazione. Le paste per saldatura sono fornite di solito in siringhe dosatrici di plastica, però su richiesta sono disponibili anche in barattoli di plastica. Le dimensioni delle siringhe variano da 3 ml (8-10 g di pasta) fino a 30 ml (75-100 g di pasta), secondo che debbano essere usate per saldatura al cannello o in forno. Le siringhe possono essere munite di aghi intercambiabili, con diametro interno da 0,25 a 2,2 mm. Il dosatore a mano (fig. 5.5 b) è facile da usare ed è ideale per piccoli laboratori artigianali. Con un minimo di esperienza, si può dosare meno di 0,001 g di pasta per ogni operazione. Per esempio, con una siringa da 3 ml, contenente 10 g di pasta, ed un ago con diametro interno di 0,4 mm, è possibile erogare circa 10.000 dosi di pasta.

I dosatori elettro-pneumatici a impulsi (fig. 5.6) sono molto adatti per erogare quantità costanti di pasta per produzioni in grande serie. Un temporizzatore o un interruttore a pedale comandano l'erogazione. È necessaria una sorgente di aria compressa.

La quantità di pasta erogata dipende dalla pressione dell'aria, dalla sezione dell'ago e dalla regolazione dei tempi. Per l'uso con questi dosatori sono disponibili siringhe più grandi, contenenti fino a 100 g di pasta, che possono essere incorporate nella linea di produzione, in modo da dare un certo grado di automazione. Per grandi produzioni sono disponibili le cartucce SEMCO contenenti fino a 1000 g di pasta, che possono essere incorporate in sistemi pneumatici ed elettropneumatici. Più recentemente è stato messo a punto un sistema di erogazione automatico, controllato da computer, che permette movimenti secondo gli assi X, Y e Z oltre a movimenti rotatori. La pasta è erogata con uno speciale dispositivo nel quale vi è una vite di Archimede. Questo dispositivo si sposta secondo una griglia programmata sullo schermo del computer.

A causa dei costi da sostenere per produrre le polveri, miscelarle con il fondente ed il legante e confezionarle per l'uso, le paste di lega per saldare costano di più dei nastri e dei fili convenzionali, però si hanno notevoli vantaggi, anche economici. Tra essi vi sono:

- a) riduzione degli scarti tra i giunti saldati. Questo fattore è importante nel caso di saldatura in forno, in cui i paglioni posizionati a mano vanno frequentemente fuori posto, a causa delle vibrazioni del nastro trasportatore. Un vantaggio della pasta è che aderisce al punto in cui è stata depositata.



Figura 5.5a Dosatore a mano per pasta di lega per saldatura. (Per gentile concessione di Hilderbrand & Cie. SA)



Figura 5.5b Dosatore a mano di pasta di lega per saldatura durante l'uso. (Per gentile concessione di Hilderbrand & Cie. SA)

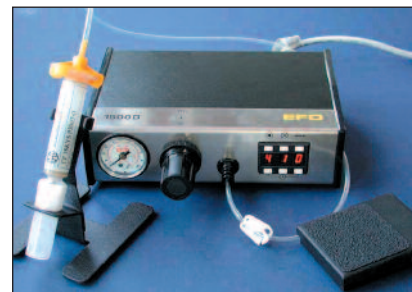


Figura 5.6 Dosatore elettropneumatico di pasta di lega per saldatura. (Per gentile concessione di Hiderbrand & Cie. SA)



Figura 5.7 Applicazione di pasta di lega per saldatura su gioielleria tradizionale in oro a 22 K

- b) Si aumenta la produttività, poiché per applicare la pasta sul giunto occorre meno tempo in confronto a quello necessario per preparare e mettere al loro posto i paglioni, e si elimina l'aggiunta di fondente.
- c) La pasta per saldatura può essere posizionata con precisione e durante il riscaldamento resta al suo posto.
- d) Si può applicare il quantitativo esatto di pasta richiesto, per cui vi è meno spreco di costosa lega per saldatura. La zona del giunto è libera da un eccesso di lega e le successive operazioni di finitura sono più facili.
- e) Per grandi produzioni le operazioni di saldatura possono essere automatizzate.
- f) Può essere possibile ridurre il personale, pur aumentando la velocità di produzione.
- g) Manodopera relativamente poco addestrata può imparare facilmente ad usare le apparecchiature di dosaggio ed a saldare la gioielleria in modo rapido ed efficiente (fig. 5.7).

Non vi sono dubbi che le paste di lega per saldatura abbiano grandemente migliorato la precisione e la produttività delle operazioni di saldatura per la produzione di gioielleria e orologeria. Malgrado il costo iniziale più alto, il loro uso è economico sia nei piccoli laboratori artigianali che per la produzione in serie. Possono essere particolarmente utili per realizzare saldature “difficili” che diversamente richiederebbero molto tempo. A causa della varietà di paste disponibili, è importante che i produttori di gioielleria discutano le loro esigenze con i fornitori, in modo da fare la scelta migliore per ogni particolare applicazione.

6 COMPOSIZIONE DELLE LEGHE PER SALDATURA

I requisiti principali delle leghe d'oro per saldatura sono già stati definiti. Queste leghe dovrebbero avere:

- la caratura richiesta, salvo poche eccezioni,
- colore il più possibile vicino a quello dei pezzi da unire,
- buone caratteristiche di resistenza, duttilità, resistenza all'usura ed alla macchiatura,
- temperatura di liquidus inferiore alla temperatura di solidus delle leghe da unire,
- un opportuno intervallo di fusione,
- nessun problema di fusione, colaggio e lavorazione o di riciclaggio del rottame.

Nelle condizioni ideali, la caratura dovrebbe essere uguale a quella della lega dei pezzi da unire ed in alcuni paesi ciò è stabilito dalle norme per la marchiatura, anche se per alcuni tipi di gioielleria possono esservi delle eccezioni. L'accoppiamento di colore è desiderabile per motivi estetici, ma non sempre è facile da ottenere, in particolare con la gioielleria in oro ad alta caratura. Quanto più alta è la caratura, tanto maggiori sono i limiti alla variazione delle aggiunte di alliganti per ottenere il colore desiderato. Può essere necessario progettare il pezzo in modo che il giunto sia nascosto alla vista. In alternativa, per avere colore uniforme, si può rivestire elettroliticamente il pezzo con uno strato di lega d'oro. Se le caratteristiche meccaniche della lega da saldatura sono molto differenti da quelle dei pezzi uniti, la finitura e l'usura possono rendere il giunto più evidente. La temperatura di liquidus e l'intervallo di fusione di una lega per saldatura dipendono dalle caratteristiche metallurgiche del sistema. Molte di queste leghe hanno composizione prossima a quella di eutettici. Una lega eutettica ha punto di fusione inferiore a quella dei metalli puri (o delle fasi intermedie) che formano il sistema. Per esempio, le ben note leghe piombo-stagno e le leghe industriali per brasatura basate sul sistema argento-rame-zinco sono di tipo eutettico.

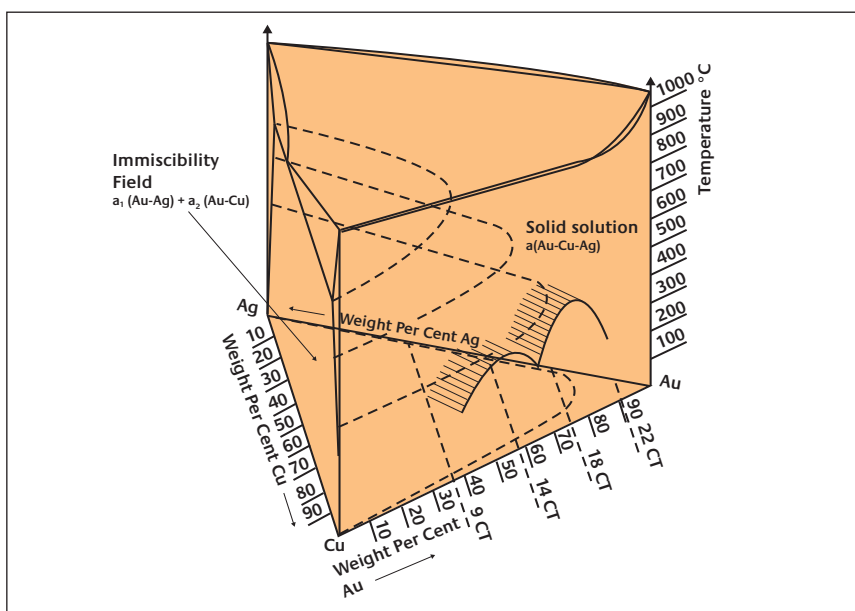


Figura 6.1 Diagramma di stato ternario per le leghe Au-Ag-Cu

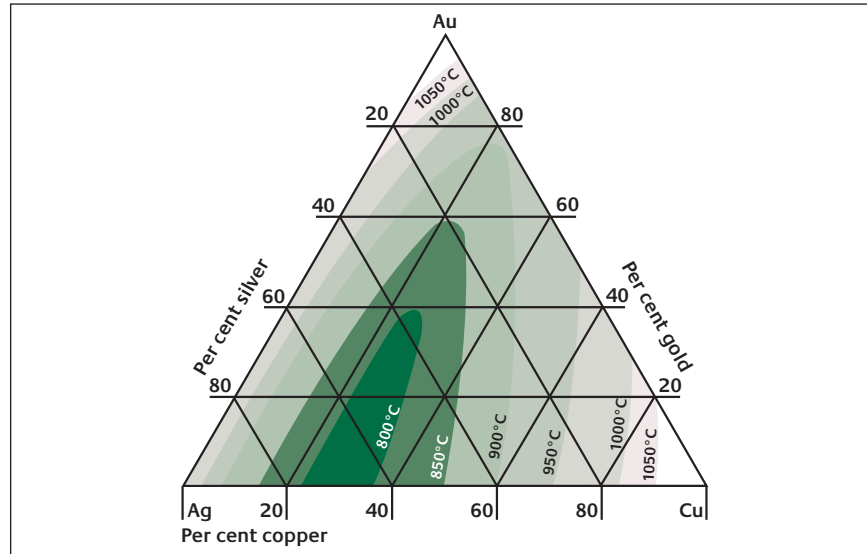


Figura 6.2 Superficie di liquidus del diagramma di stato ternario Au-Ag-Cu

La stessa cosa è vera, in larga misura, per le leghe d'oro per saldatura. Il diagramma di stato del sistema ternario oro-argento-rame (Au-Ag-Cu) presenta sulla superficie di liquidus una valle che parte dall'eutettico binario sul lato del sistema Ag-Cu e penetra nel sistema ternario (*) (fig. 6.1 e 6.2).

Nel tempo passato le leghe d'oro per saldatura avevano composizione prossima alla valle eutettica, dove le temperature di liquidus erano più basse. Queste leghe funzionavano bene per pezzi di gioielleria con composizioni non vicine alla valle, per i quali la temperatura di solidus era superiore alla temperatura di liquidus della lega per saldatura. Per una data composizione, aumentando il rapporto Cu:Ag, la temperatura di liquidus tende a diminuire, tranne che per rapporti alti con leghe a bassa caratura (tabella 6.1). Dalla tabella si vede che la temperatura alla quale la lega scorre è superiore alla temperatura di liquidus. Con le leghe di questo tipo, l'altro problema è che in generale non vi è accordo di colore ed è difficile trovare una composizione adatta per saldare la gioielleria in oro giallo, perché anch'essa ha composizione vicina alla valle.

Per tradizione, per abbassare la temperatura di liquidus e l'intervallo di fusione ed anche per fare adattamenti della caratura e del colore, al sistema ternario oro (Au)-argento (Ag)-rame (Cu) si facevano aggiunte di zinco (Zn), cadmio (Cd) e nichel (Ni). Purché la sua concentrazione sia mantenuta sotto al 5% circa, la perdita di zinco per evaporazione è minima. Con contenuti di zinco più alti si può avere perdita di zinco durante il riscaldamento e porosità puntiforme sul giunto. Inoltre, un eccesso di zinco riduce la duttilità e la malleabilità della lega, per cui, in particolare per le leghe da saldatura ad alta caratura, vi è un limite alla quantità di zinco che può essere aggiunta per abbassare la temperatura di liquidus. Si è già parlato della tossicità del cadmio e se ne discuterà più a fondo nella Sezione 8. Per questo motivo sono stati fatti molti studi per trovare elementi di lega adatti per sostituire il cadmio. Le leghe da saldatura moderne al posto del cadmio contengono stagno (Sn), indio (In) e gallio (Ga) in quantità variabili, per controllare l'intervallo di fusione, la temperatura di liquidus, il colore e la caratura.

*Nota - Negli articoli "Guida alla comprensione dei diagrammi di stato delle leghe", parte 1 e parte 2, pubblicati su *Gold Technology* n° 29 e n° 30 del 2000, vi è una spiegazione completa dei diagrammi di stato e della loro interpretazione.

Tabella 6.1 Effetto della variazione del contenuto di argento e di rame sulle temperature di liquidus e di scorrimento (da W.S. Rapson e T. Groenewald)

Oro	Composizione % in peso		Cu:Ag Rapporto	Temp. liquidus. °C	Temp. scorr.. °C
	Argento	Rame			
Oro a 22 carati					
91,6	6,3	2,1	1:3	1024	1035
91,6	4,2	4,2	1:1	971	1003
91,6	2,1	6,3	3:1	954	979
Oro a 18 carati					
75,0	21,4	3,6	1:6	976	1005
75,0	17,0	8,0	1:2	934	968
75,0	12,5	12,5	1:1	882	905
75,0	8,0	17,0	2:1	882	893
75,0	3,6	21,4	6:1	881	902
Oro a 9 carati					
37,5	53,5	9,0	1:6	905	948
37,5	41,5	21,0	1:2	800	820
37,5	31,25	31,25	1:1	825	863
37,5	21,0	41,5	2:1	875	900
37,5	9,0	53,5	6:1	915	950

Possono anche essere presenti piccole quantità (circa 0,1%) di affinatori del grano come iridio (Ir), cobalto (Co) o nichel (Ni), per minimizzare la crescita del grano nello strato di lega dentro il giunto. Normandeau (Simposio di Santa Fe del 1989 e *Gold Technology* n° 18) ha discusso la messa a punto e le proprietà di parecchie leghe per saldatura esenti da cadmio. È stato osservato (Simposio di Santa Fe, 1990) che nei pezzi poi sottoposti a “bombing” in soluzioni calde di cianuro e perossido si poteva formare uno strato di corrosione superficiale di cianuro di indio, che richiedeva una ulteriore abrasione e lucidatura. Oltre ai rischi presentati dall’uso del cianuro, questo è un altro motivo per evitare l’uso del “bombing”. Ott ha presentato un lavoro su leghe per saldatura a 21 K esenti da cadmio (*Gold Technology* n° 19), in cui si dimostra che per queste leghe, affinché le aggiunte di indio e gallio siano efficaci per abbassare la temperatura di liquidus, è necessario un alto rapporto Cu:Ag.

In generale, si è trovato che si possono produrre leghe da saldatura senza cadmio con intervallo di fusione adatto per leghe scorrevoli, medie e dure, con caratteristiche meccaniche e lavorabilità simili a quelle delle leghe con cadmio. Attualmente le leghe senza Cd sono molto usate nell’industria, con risultati eccellenti. Nella tabella 6.2 è riportato un elenco di composizioni tipiche di leghe da saldatura colorate da 9 a 22 K, con gli intervalli di fusione e le caratteristiche. Di solito le leghe da saldatura in oro bianco si basano sul sistema Au-Cu-Ni, con aggiunte supplementari di argento, rame e zinco, per ottenere un intervallo di fusione adatto. Sono state formulate delle leghe da saldatura in oro bianco senza cadmio, che sono riportate nella Tabella 6.3. Tuttavia sono state pubblicate poche informazioni sulla disponibilità di leghe da saldatura in oro bianco senza nichel. Ciò potrebbe invece essere importante a causa delle direttive emanate sull’uso del nichel nella gioielleria. È possibile che il loro contenuto di nichel relativamente basso, in confronto a quello degli ori bianchi al Ni usati per la gioielleria, ne renda ancora possibile l’uso, purché vengano rispettate le condizioni imposte dalla prova di cessione del nichel. Bagnoud et al. hanno affermato che aggiunte di 3-5% di manganese (Mn) danno leghe con un colore accettabile ed un intervallo di fusione adatto per gli ori bianchi senza Ni, però non hanno dato particolari su composizione, temperatura di liquidus e intervallo di fusione. Rapson e Groenewald riferiscono di una lega per saldatura

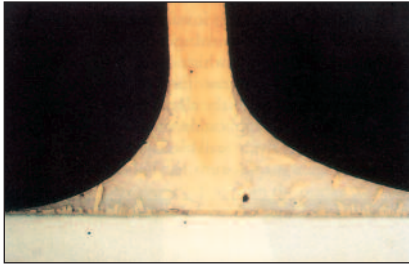


Figura 6.3 Micrografia di un giunto saldato con la lega Au-Ge-Si a 22 carati

in oro bianco, descritta già nel 1929, contenente 75% Au-15% Ag-10% Pt. In accordo con il diagramma di stato Au-Ag-Pt, questa lega dovrebbe avere una temperatura di liquidus di circa 1180°C, per cui sembra adatta per alcune leghe commerciali di oro bianco al Pd.

Recentemente sono state messe a punto leghe d'oro ad alta caratura per saldatura a bassa temperatura, che si basano sulle leghe oro-silicio (Si) e oro-germanio (Ge), usate nell'industria elettronica. Sangha et al. (*Gold Technology* n° 19) e Jacobson et al. (*Gold Bulletin*, vol. 29(1), 1996) descrivono una lega da saldatura a 22 K (Au-6,6% Ge-1,7% Si), che corrisponde ad una valle eutettica nel sistema Au-Ge-Si. Questa lega ha intervallo di fusione stretto e sopra 382°C è completamente fusa. La saldatura deve essere eseguita senza fondente, in forno a 425°C, in atmosfera inerte di azoto. Se poi, durante il raffreddamento, si mantiene il pezzo saldato a 280°C per 30 minuti, si ha un eccellente accoppiamento di colore tra la lega da saldatura e l'oro giallo a 22 K (fig. 6.3).

Nella fabbricazione di catena, per la chiusura delle maglie si sta diffondendo l'uso del filo con anima di lega per saldatura o della saldatura laser. Per molti anni il metodo classico per saldare le maglie è stato quello di riempire gli interstizi dei giunti con polvere di una lega per saldatura contenente argento, rame e fosforo, con piccole aggiunte di zinco e stagno. La polvere è dispersa in un veicolo come olio di ricino con un solvente organico, senza fondente (la lega non richiede fondenti). Si

Tabella 6.2 Composizione di alcune tipiche leghe per saldatura in oro colorato e loro intervallo di fusione

Carati	Au %	Ag %	Cu %	Zn %	Cd %	In %	Sn %	Ga %	Tipo	Colore	Interv. di fusione °C
22	91,6	0,4	3,0	5,0	-	-	-	-	Scorrevole Media Dura	Giallo	865-880
	91,6	-	-	8,4	-	-	-	-		Giallo	754-796
	91,8	2,4	2,0	1,0	-	2,8	-	-		Giallo	850-895
	91,8	3,0	2,6	1,0	-	1,6	-	-		Giallo	895-900
	91,8	4,2	3,1	1,0	-	-	-	-		Giallo	940-960
21	87,5	-	4,5	4,0	-	-	4,0	-	Scorrevole	Giallo	662-813
	87,5	-	5,5	4,8	-	2,2	-	-	Media	Giallo	751-840
	87,5	4,0	3,5	5,0	-	-	-	-	Dura	Giallo	834-897
18	75,0	12,0	8,0	-	5,0	-	-	-	Scorrevole Media Dura Dura	Giallo Giallo Giallo Giallo Rosso	826-887
	75,0	9,0	6,0	-	10,0	-	-	-			776-843
	75,0	5,0	9,3	6,7	-	4,0	-	-			726-750
	75,0	6,0	10,0	7,0	-	2,0	-	-			765-781
	75,0	6,0	11,0	8,0	-	-	-	-			797-804
	75,0	5,25	12,2	6,5	-	1,0	-	-			792-829
	75,0	6,1	11,0	7,9	-	-	-	-			805-810
14	58,5	25	12,5	-	4,0	-	-	-	Scorrevole Media Dura	Giallo Giallo Giallo	788-840
	58,5	8,8	22,7	-	10,0	-	-	-			751-780
	58,3	14,4	13,0	11,7	-	2,5	-	-			685-728
	58,3	17,5	15,7	6,0	-	-	2,5	-			757-774
	58,3	20,0	18,2	3,5	-	-	-	-			795-807
10	41,7	27,1	20,9	5,3	-	2,5	2,5	-	Scorrevole	Giallo	680-730
	41,7	29,4	22,2	4,2	-	-	2,5	-	Media	Giallo	743-763
	41,7	33,2	23,9	1,2	-	-	-	-	Dura	Giallo	777-795
9	37,5	31,9	18,1	8,12	-	3,12	-	1,25	*M s	Giallo	637-702
	37,5	29,4	19,4	10,6	-	2,5	-	0,62	Scorrevole	Giallo	658-721
	37,5	36,3	18,2	8,0	-	-	-	-	Media	Giallo	735-755
	37,5	29,8	27,5	5,2	-	-	-	-	Dura	Giallo	755-795
	37,5	26,1	27,4	9,0	-	-	-	-		Rosso	685-790

N.B. Alcune di queste formule possono essere brevettate.

In alcuni casi il punto di scorrimento è indicato come temperatura di liquidus *M s = Molto scorrevole

Tabella 6.3 Composizione di alcune tipiche leghe per saldatura in oro bianco e loro intervallo di fusione

Carati	Au %	Ag %	Cu %	Zn %	Ni %	In %	Sn %	Pt %	Tipo	Interv. di fusione °C
	83,3	-	-	6,7	10,0	-	-	-	Dura	855-885
	80,0	-	-	8,0	12,0	-	-	-		782-871
18	75,0	-	6,0	13,5	5,5	-	-	-	Scorrevole	802-826
	75,0	-	9,0	7,0	9,0	-	-	-	Dura	843-870
	75,0	15,0	-	-	-	-	-	10,0		? - ~1180
	75,0	-	6,5	6,5	12,0	-	-	-	Scorrevole	803-834
	75,0	-	1,0	7,5	16,5	-	-	-	Dura	888-902
14	58,33	22,0	4,42	12,0	1,25	2,0	-	-	Scorrevole	695-716
	58,33	26,0	3,67	9,0	3,0	-	-	-	Dura	755-805
	58,33	15,75	5,0	15,9	5,0	-	-	-	Scorrevole	707-729
	58,33	15,75	11,0	9,2	5,0	-	-	-	Dura	800-833
10	41,67	35,0	13,5	5,83	-	1,0	3,0	-	Scorrevole	715-745
	41,67	42,0	9,83	3,0	-	-	3,5	-	Dura	770-808
	41,67	28,1	14,1	6,13	10,0	-	-	-	Scorrevole	763-784
	41,67	30,13	15,1	1,1	12,0	-	-	-	Dura	800-832
9	37,5	33,4	23,1	-	-	3,0	3,0	-		725-735

N.B. Alcune di queste formule possono essere brevettate

passano i pezzi di catena in questa miscela e poi li si strofina o li si buratta con talco, per asportare dalle superfici l'eccesso di miscela. Con il riscaldamento si elimina l'olio, si fonde la lega e si brasano le maglie. Si noter  che la lega non contiene oro, per cui il filo usato per produrre la catena deve avere titolo pi  alto, per esempio, di 4 punti, per compensare questo fatto e garantire che la catena abbia la caratura richiesta.

Si consiglia di acquistare le leghe d'oro per saldatura da fornitori specializzati, poich  di rado   conveniente per l'artigiano o il produttore su piccola scala produrre da s  leghe per saldatura con caratura, colore ed intervallo di fusione controllati. Ci    vero in particolare per le paste di leghe da saldatura, che richiedono attrezzature specializzate per la loro lavorazione e sono vendute con viscosit  e granulometria differenti, con o senza fondente.

7 ALTRI METODI DI GIUNZIONE

Questo manuale è dedicato principalmente alla saldatura forte, che è il metodo più largamente usato per la fabbricazione della gioielleria, ma vi sono altre tecniche di giunzione che negli ultimi anni hanno assunto crescente importanza. In questa sezione si descrivono alcune di queste tecniche e si discutono brevemente le loro caratteristiche più importanti.

7.1 SALDATURA CON RAGGIO LASER

La saldatura laser ha acquistato importanza nella produzione di gioielleria come mezzo per saldare le maglie di catena nel corso della loro formatura durante il processo di fabbricazione della catena. In seguito, con la messa a punto di apparecchiature portatili per la saldatura laser, sono diventate possibili altre applicazioni, come riparazioni per mezzo di saldature e giunzioni del gambo di anelli. La parola “laser” è un acronimo per “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Amplificazione della luce con emissione stimolata di radiazione). Il raggio laser è una sorgente di luce coerente e monocromatica, che può essere nitidamente focalizzata, con un apporto di calore forte e controllabile su una zona molto limitata dei pezzi in lavorazione.

Nella fig. 7.1 è mostrato lo schema di un generatore laser. Il materiale usato per generare il raggio laser è una bacchetta monocristallina di granato di ittrio e alluminio (YAG), drogato con circa 1% di neodimio (laser Nd-YAG). Una lampada ad arco continuo o una lampada flash, come una lampada al cripton o allo xenon, agiscono come sorgente di energia con cui la bacchetta di Nd-YAG è eccitata ad un livello energetico capace di produrre una emissione stimolata di fotoni. Due specchi posti uno di fronte all'altro alle estremità opposte della bacchetta concentrano i fotoni e formano un raggio di luce monocromatica coerente: cioè le onde luminose sono in fase (coerenti) ed hanno una sola lunghezza d'onda (monocromatiche). Uno dei due specchi riflette il 100% della luce incidente, mentre l'altro ne riflette solo circa l'80% e permette il passaggio del raggio verso un sistema di lenti di focalizzazione. Il generatore include un otturatore Q che, quando è aperto, lascia passare il raggio laser come impulso di alta potenza. Anche se per altre applicazioni si possono usare altri materiali per laser, il laser Nd-YAG è il più adatto per la lavorazione della gioielleria. La lunghezza d'onda della luce emessa è 1064 nanometri

Tabella 7.1 Parametri operativi tipici per la saldatura laser

Voltaggio dell'impulso per innescare il flash allo Xenon *	200-400 volts
Tensione di alimentazione	115 o 200-240V/50-60 Hz / monofase
Massima potenza media erogata	30-80 watt
Diametro della macchia focale	0,2-2mm
Energia dell'impulso	0,05-80 joules (watt.sec)
Potenza di picco dell'impulso	4,5-10 kilowatt
Durata dell'impulso	0,5-20 millisecondi
Frequenza degli impulsi	1-10 Hz

(*) La tensione di alimentazione dell'impulso influenza la potenza del raggio laser in uscita

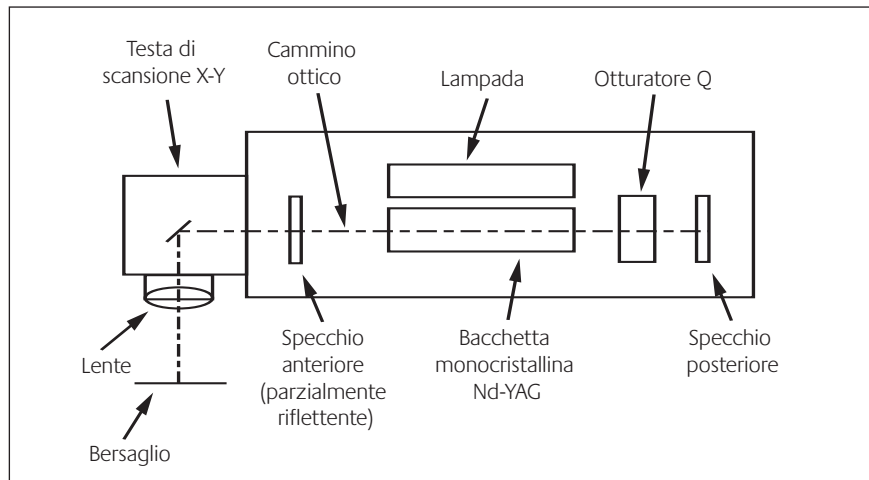


Figura 7.1 Schema di un generatore laser Nd-YAG

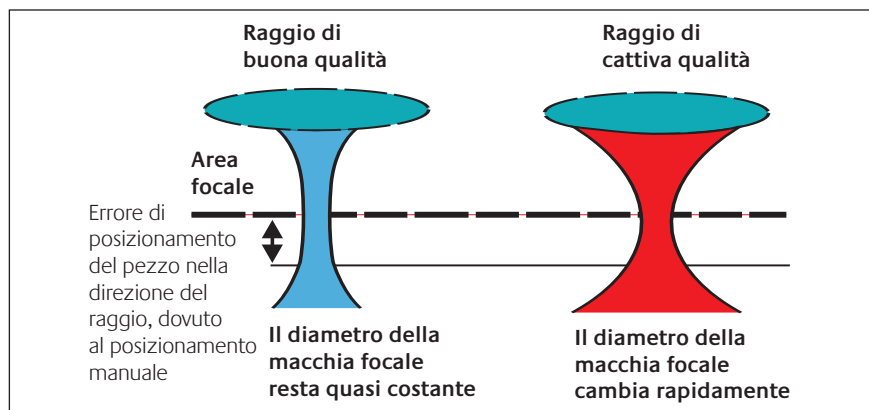


Figura 7.2 Rappresentazione della forma del raggio laser. (Per gentile concessione di J. C. Wright)



Figura 7.3 Tipica apparecchiatura laser usata per la lavorazione della gioielleria

e si colloca nel campo dei raggi infrarossi, invisibili all'occhio umano. Il lampo di luce che si vede durante la saldatura laser è causato dal plasma (gas ionizzato) che si forma sul punto della saldatura. **[Attenzione! Anche se è invisibile, il raggio laser può essere focalizzato dall'occhio sulla retina e può causare danni permanenti nell'occhio. Vedere Sezione 8].**

I laser per la lavorazione di gioielleria sono pulsati e con potenza relativamente bassa. Wright ha indicato parametri di lavorazione tipici per apparecchiature laser per gioielleria (tabella 7.1).

Un sistema di più lenti focalizza il raggio e gli dà forma. Idealmente, nella zona del fuoco, il raggio dovrebbe essere cilindrico. Così si aumenta la profondità di campo del fuoco fino a parecchi millimetri, per compensare le variazioni dovute al posizionamento manuale del pezzo (fig. 7.2). Gli apparecchi laser portatili per gioielleria (fig. 7.3) sono muniti di microscopio stereoscopico con reticolo per il posizionamento dei punti da saldare. Per le leghe d'oro, le tensioni tipiche per l'innesco dell'impulso e la sua durata sono:

	Tensione di innesco dell'impulso	Durata dell'impulso
	V	ms
Oro 999	300-400	10-20
Oro giallo a 18 K	250-300	2,5-10
Oro bianco a 18 K	250-280	1,7-5,0

Aumentando la tensione si aumenta la profondità di penetrazione del raggio, mentre aumentando la durata dell'impulso si aumenta l'energia totale dell'impulso e la dispersione laterale del calore. Aumentando il diametro del raggio, si aumenta la dispersione laterale del calore piuttosto che la penetrazione.

La grande riflettività dell'oro e delle sue leghe può creare problemi. Il laser Nd-YAG è il più adatto per queste condizioni, però in alcuni casi, ma non sempre, può essere necessario aumentare l'assorbimento annerendo la zona bersaglio. Ciò può essere fatto semplicemente marcando il punto con un pennarello scuro.

Per la fabbricazione di catena, il raggio può essere fatto passare lungo parecchi metri di fibre ottiche, fino alla lente di focalizzazione (fig. 7.4), collocata sopra la maglia in fabbricazione ad una distanza di 40-70 mm. L'impulso è sincronizzato con il momento in cui le estremità della maglia si toccano, in modo che la saldatura è formata simultaneamente (fig. 7.5). L'apparecchio può essere facilmente adattato per la produzione di 300 maglie al minuto.

La saldatura laser offre molti vantaggi. Al di fuori della zona della saldatura si genera poco calore e ciò significa che:

- si possono fare saldature vicino alle pietre. Per esempio, si possono riparare delle graffette senza bisogno di togliere le pietre e incastorarle di nuovo dopo la saldatura.
- Non è necessario fondente.
- L'operatore può tenere con le mani i pezzi da unire, per cui occorrono meno attrezzature di fissaggio. Le braccia vengono introdotte attraverso aperture sui due lati dell'apparecchio, per cui le mani ed i pezzi si trovano completamente al suo interno.
- Il riscaldamento è molto localizzato e si possono eseguire più saldature sullo stesso pezzo senza la preoccupazione che giunzioni fatte in precedenza possano rifondere.
- Il metallo di apporto per le riparazioni con saldature è formato dalla stessa lega d'oro del pezzo da riparare, per cui non ci sono problemi di caratura o di disuniformità del colore. Ciò è particolarmente vantaggioso nel caso degli ori ad alta caratura (> 22 K), per i quali non si hanno leghe da saldatura adatte.
- Il gambo degli anelli può essere saldato con il laser (fig. 7.6). Per ottenere una penetrazione sufficiente e per la successiva lisciatura sono necessarie più passate di saldatura.
- In generale l'esperienza ha dimostrato che le saldature laser sono più resistenti e più duttili dei giunti equivalenti saldati a forte e che la loro porosità è bassa o nulla.
- Si evitano i problemi di tossicità dovuti ad alcuni componenti delle leghe da saldatura, come per esempio il cadmio.

Vi sono però anche alcuni svantaggi. La saldatura con il raggio laser richiede più tempo della saldatura forte tradizionale. Con l'eccezione della fabbricazione di catena e della granulazione (fig. 7.7), non si adatta facilmente alla produzione in serie. I giunti saldati tendono ad avere un rigonfiamento a bulbo, che deve essere asportato successivamente con abrasione e lucidatura. In alcuni casi la posizione del giunto può rendere impossibile l'operazione, poiché la saldatura laser avviene "sulla linea della visuale". Infine, anche se negli ultimi anni il costo delle apparecchiature laser portatili è considerevolmente diminuito, può essere ancora troppo alto per il singolo artigiano.

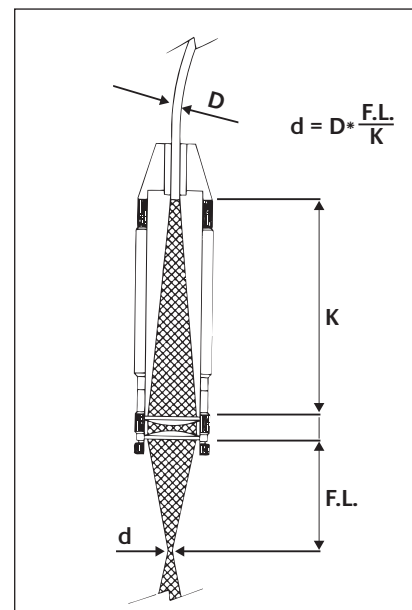


Figura 7.4 Raggio laser che passa attraverso un sistema di lenti di focalizzazione

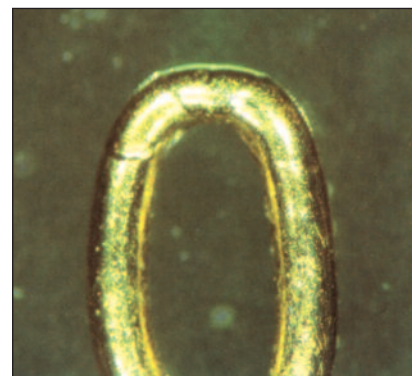


Figura 7.5 Anello di catena in oro a 18 K saldato con raggio laser

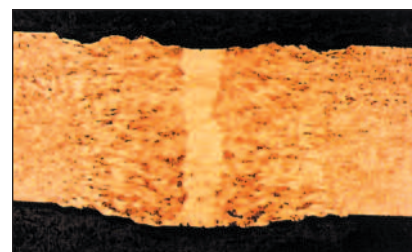


Figura 7.6 Micrografia del gambo di un anello saldato con laser

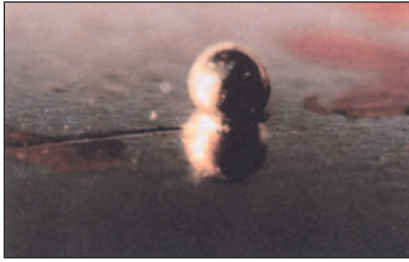


Figura 7.7 Sfera di oro a 22 K granulata con saldatura laser su una lamina di oro bianco a 18 K



Figura 7.9 Pezzi di minuteria muniti di sporgenza. (Per gentile concessione di J. Alves)

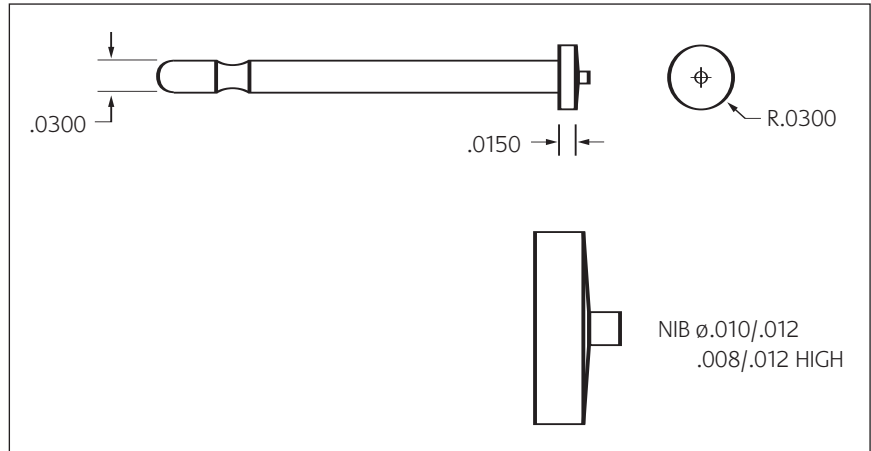


Figura 7.8 Schizzo di un pezzo con una sporgenza per la saldatura per fusione. (Per gentile concessione di J. Alves)

7.2 SALDATURA PER FUSIONE

La saldatura per fusione può essere definita come la fusione localizzata delle superfici da unire, con o senza aggiunta di metallo di apporto, causata dal riscaldamento con un cannello a gas o a plasma o con una scarica elettrica, che avviene quando sono poste in contatto le superfici di due pezzi collegati ad elettrodi con polarità opposta. I processi di saldatura per fusione comprendono la puntatura per il fissaggio (descritta nella Sezione 4.2), la saldatura con arco-plasma e la saldatura elettrica a resistenza per punti o continua.

I processi di saldatura per fusione sono idealmente adatti per la produzione in serie ed anche per operazioni singole o in piccola serie. Ciò è particolarmente vero per la produzione di minuteria per gioielleria, per esempio pernetti e fermagli per orecchini, connessioni per bottoni da polso, bottoni per risvolti, pernetti a vite, giunti e fermagli per spille, ecc. Alves ha descritto un processo in cui dei particolari muniti di una sporgenza, come per esempio pernetti, sono posti in contatto con un pezzo

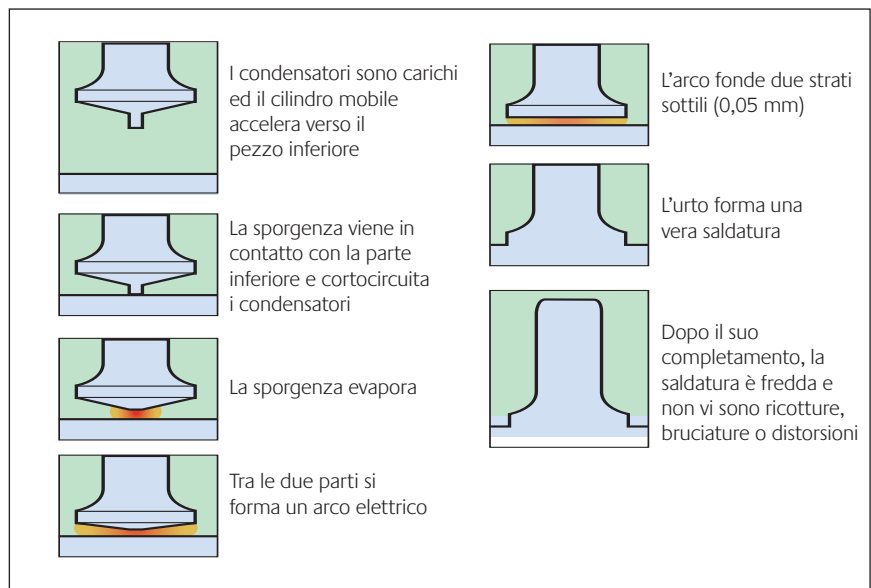


Figura 7.10 Stadi del processo di saldatura per fusione con scarica elettrica. (Per gentile concessione di J. Alves)

di gioielleria. Quando la sporgenza viene in contatto con l'altra superficie da unire, la scarica elettrica prodotta dai condensatori la fa evaporare. [La sporgenza è parte integrante del pezzo di minuteria e non è un pezzo aggiunto o un pezzo di lega da saldatura (fig. 7.8 e 7.9)]. Si forma così un arco di plasma, che genera abbastanza calore da fondere le superfici del pezzo di minuteria e del pezzo di gioielleria da unire (fig. 7.10). Il raffreddamento istantaneo origina una saldatura resistente (fig. 7.11).

Questo processo offre i seguenti vantaggi:

- la saldatura per fusione permette di ottenere giunti resistenti,
- le zone circostanti ricevono poco calore, per cui non si ha ossidazione, scolorimento o ricottura,
- non si usa metallo di apporto, per cui la caratura dovrebbe essere garantita,
- non ci sono problemi ambientali o di tossicità,
- rispetto alle tecniche convenzionali di saldatura forte, sono richiesti minore abilità e minore addestramento del personale,
- è un processo rapido, che può essere meccanizzato.

Per non ottenere saldature difettose, è importante che per ogni applicazione particolare siano scelti il voltaggio e l'intensità di corrente (amperaggio) adatti.

I manuali delle apparecchiature dovrebbero contenere istruzioni per le regolazioni iniziali, che possono poi essere migliorate con l'esperienza del produttore. Segni di bruciatura sulla gioielleria indicano che il contatto con il dispositivo di fissaggio, che è collegato con uno degli elettrodi, non è buono.

In commercio si trova un gran numero di apparecchiature per la saldatura per fusione. Queste possono essere con alimentazione automatica o manuale ed i prezzi vanno da poche centinaia a parecchie migliaia di dollari (figg. 7.12 e 7.13). Le saldatrici di basso costo sono adatte per piccoli laboratori e non richiedono aria compressa. Per le saldatrici più grandi è necessario disporre di aria compressa.

La saldatura con una scarica elettrica controllata è stata adattata per la saldatura delle maglie di catena di lega d'oro. Questo metodo è simile alla saldatura con raggio



Figura 7.11 Tipica saldatura per fusione con scarica elettrica. (Per gentile concessione di J. Alves)

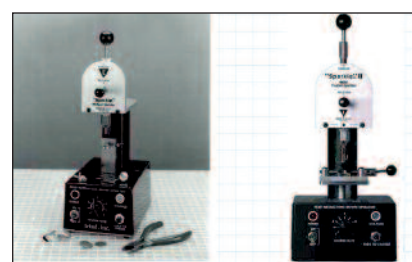


Figura 7.12 Saldatrici per fusione di basso costo. (Per gentile concessione di J. Alves)



Figura 7.13 Saldatrice per fusione di costo più alto. (Per gentile concessione di J. Alves)

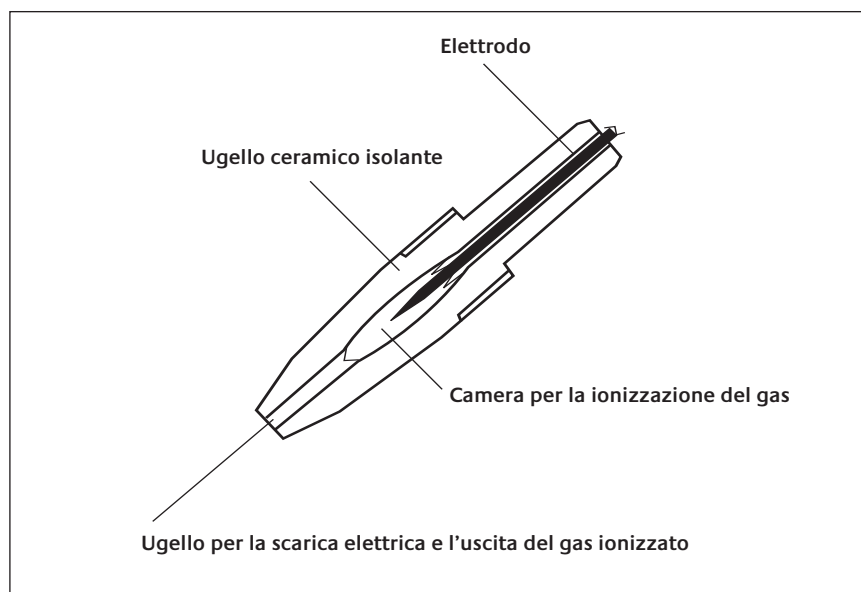


Figura 7.14 Ugello per la saldatura elettrica ad arco-plasma

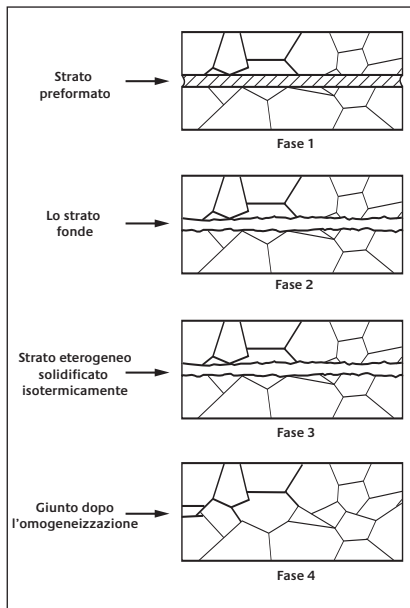


Figura 7.15 Sequenza delle fasi nella saldatura per diffusione con uno strato di stagno

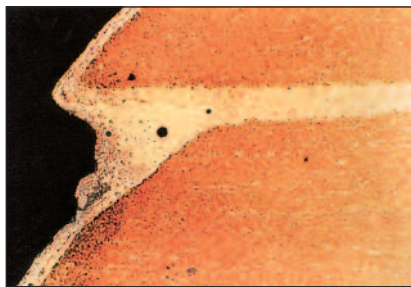


Figura 7.16 Sezione micrografica di un giunto in oro a 18 K saldato per diffusione prima dell'omogeneizzazione. Si vede lo strato centrale di oro-stagno

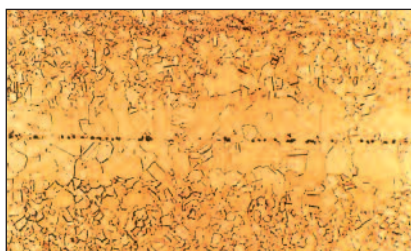


Figura 7.17 Sezione micrografica di un giunto in oro a 18 K saldato per diffusione dopo omogeneizzazione. Come lamina di supporto per lo stagno è stata usata una lega in oro a 18 K differente

laser, poiché l'apparecchiatura necessaria è incorporata nella macchina che fabbrica la catena ed ogni maglia è saldata nel momento in cui si forma, senza l'aggiunta di metallo di apporto. Nella fig. 7.14 si vede l'ugello di saldatura. Un gas inerte, come l'argon, è ionizzato in circa 0,2 millisecondi (ms) da una scarica elettrica con differenza di potenziale di 2000-3000 volt. Il gas ionizzato è fortemente riscaldato dalla corrente che lo attraversa, per cui esce dall'ugello e colpisce il pezzo da saldare. Il tempo totale richiesto per la scarica e la saldatura va da 1 a 9 ms.

I vantaggi sono:

- la catena non è maneggiata, per cui non vi è rischio di aprire le maglie prima che siano saldate,
- si possono saldare leghe di tutte le carature, fino a 24 K,
- il processo non è inquinante,
- richiede una bassa potenza di alimentazione elettrica.

7.3 SALDATURA PER DIFFUSIONE

Con la saldatura per diffusione si ottiene un giunto molto resistente, grazie alla migrazione (interdiffusione) di atomi verso e attraverso le superfici da unire. Questo processo può richiedere o non richiedere metallo di apporto, per esempio sotto forma dell'inserimento di una sottile lamina, e può coinvolgere o non coinvolgere la formazione transitoria di una fase liquida. Ciò dipende dai materiali da unire e dalle proprietà metallurgiche delle loro leghe. Se si usa metallo di apporto, per cui vi è formazione transitoria di una fase liquida, che corrisponde ad una specie di saldatura forte, il termine "brasatura per diffusione" sarebbe più adatto. Nella fig. 7.15 sono indicate le fasi della saldatura per diffusione. Un sottile preformato del metallo di apporto è inserito tra le superfici da unire. Quando l'insieme è riscaldato, lo strato inserito fonde. Prolungando il riscaldamento, si causa l'interdiffusione, con migrazione degli atomi attraverso l'interfaccia, che porta alla scomparsa della fase liquida ed all'omogeneizzazione della composizione.

Questa tecnica è stata usata con successo per leghe d'oro ad alta caratura, usando come metallo d'apporto un sottile strato di stagno. Dal momento che una sottile lamina di stagno, spessa solo qualche micron, sarebbe stata troppo fragile, lo stagno è depositato elettroliticamente sulle due superfici di una lamina di lega d'oro ricotta, con spessore minimo di 75 µm, che funziona da supporto per lo stagno. La caratura della lamina è leggermente superiore a quella del pezzo di gioielleria, in modo da compensare la piccola aggiunta di stagno. Il pezzo preformato ed elettroplaccato è immerso in un fondente liquido, chimicamente attivo a circa 250°C, ed è poi posto tra i pezzi di gioielleria. Lo stagno fonde a 232°C, per cui il riscaldamento a 250°C permette allo stagno fuso di scorrere, riempiendo il giunto, e di reagire con le superfici e la laminetta d'oro, in modo da ottenere una solidificazione isotermica in un tempo molto breve, di alcune decine di secondi. Un piccolo sforzo di compressione, di circa 1 MPa, ottenuto applicando sul dispositivo di fissaggio un carico di 100 g per millimetro quadrato di area del giunto, aiuta a portare in stretto contatto le superfici da unire. A questo punto l'oggetto è sufficientemente robusto per essere tolto dal dispositivo di fissaggio e introdotto in un forno a 450°C per omogeneizzare il giunto (fig. 7.16 e 7.17). Questo processo è particolarmente adatto per leghe di oro giallo a 18 e 22 K lavorate, ma può essere usato anche per leghe da colaggio ad alta caratura contenenti zinco e per l'ORO 990 (lega oro-1% titanio). Le

prove hanno dimostrato che questi giunti sono più resistenti di quelli saldati a forte nel modo solito.

Questo metodo offre i seguenti vantaggi:

- la temperatura di trattamento è relativamente bassa e nelle leghe ad alta caratura si evita la caduta di resistenza e durezza che si verifica con la saldatura tradizionale, a causa della ricottura ad alta temperatura,
- i giunti sono praticamente invisibili,
- se si esegue l'operazione in un forno con atmosfera inerte di azoto, il fondente non è necessario.

Esiste però il limite che, per facilitare l'assemblaggio, la superficie del giunto deve essere abbastanza grande e piana. Nella fig. 7.18 si vedono parti di un bracciale e di orecchini ottenute con saldatura per diffusione a 450°C.



Figura 7.18 Parti di una parure di bracciale e orecchini in oro a 18 K, saldati per diffusione a 450°C

7.4 GIUNZIONE CON ADESIVI

Ritenendo che gli adesivi non offrano resistenza e durata in servizio sufficienti, gli orafi tendono ad evitare l'uso esteso della giunzione con adesivi. Di conseguenza il loro uso è stato confinato principalmente alla bigiotteria, ad esempio per fissare pietre o attaccare minuteria. Tuttavia negli ultimi cinquant'anni ci sono stati notevoli miglioramenti nelle prestazioni degli adesivi per applicazioni nella meccanica. Inoltre la maggior parte dei regolamenti per la marchiatura permette l'uso di adesivi al posto delle leghe per saldatura, purché questi non contengano metalli non nobili e siano solo nella quantità necessaria per la giunzione.

Tutte le giunzioni con adesivi si basano sulla resistenza del legame tra l'adesivo e le superfici da unire e sulla forza di coesione dell'adesivo stesso. La resistenza globale del giunto è determinata dalla più debole di queste due resistenze. Per spiegare la natura dell'adesione sono state proposte varie teorie. È ben noto che su superfici ruvide l'adesione è migliore che su superfici lisce e lucide. Ciò indica che si forma un qualche tipo di interazione meccanica con le asperità (sporgenze e rientranze) della superficie. Inoltre, quando l'adesivo "bagna" completamente la superficie del substrato, si forma un legame chimico più forte tra l'adesivo ed il substrato. I principi su cui si basa la bagnabilità sono stati descritti nella Sezione 2c di questo manuale. Si ottiene un buon umettamento solo se le superfici da unire sono perfettamente pulite e l'energia superficiale dell'adesivo è molto più bassa di quella del substrato. Energie superficiali tipiche, in mJ/m^2 , sono:

Oro puro	1700
Oro a 18 K	1650
Adesivi organici	(γ_{LV}) 30-47

Si devono eliminare tutte le tracce di sporcizia, ossidi, olio e grassi, altrimenti l'adesivo non può bagnare il substrato. Può essere necessario eseguire uno o più dei seguenti trattamenti di pulitura, cioè decapaggio acido per asportare gli ossidi, sgrassaggio con vapore e lavaggio con ultrasuoni in un solvente adatto. Inoltre la superficie pulita deve essere "preparata" applicandovi una soluzione diluita dell'adesivo in un solvente, in modo che asciughi, lasciando un sottile strato di adesivo, spesso da 1,5 a 50 μm . Questo strato facilita l'umettamento, protegge dalla corrosione e contribuisce ad impedire il distacco ed a tenere l'adesivo al suo posto durante l'incollaggio.

Vi è un'equazione (equazione di Stefan) che prevede che la resistenza della giunzione con adesivo aumenti con la viscosità dell'adesivo, con l'ampiezza dell'area di contatto e con la diminuzione dello spessore dello strato di adesivo. Ciò corrisponde a quanto si osserva sul comportamento degli adesivi e forma la base per la loro composizione. Questi all'inizio hanno bassa viscosità per facilitare l'umettamento e l'allargamento e poi con il tempo la viscosità aumenta, grazie all'evaporazione del solvente o a maturazione.

Gli adesivi hanno bassa resistenza alla pelatura ed alla rottura e quindi a carichi di flessione con certi tipi di configurazione del giunto. Hanno invece buona resistenza alla compressione ed al taglio. Ciò dovrebbe essere tenuto presente quando si progettano gioielli con giunti con adesivi. In generale i giunti di testa sono i più deboli e si consigliano giunti a sovrapposizione o con coprigiunto. In un giunto a sovrapposizione la maggior parte delle tensioni si concentra alle estremità, mentre al centro gli sforzi sono molto bassi. In pratica vi è un limite alla lunghezza del giunto, oltre il quale non vi è più un aumento della resistenza. Aumentare la larghezza del giunto è più importante che aumentarne la lunghezza.

Vi sono molti tipi e classi di adesivi ed una loro descrizione dettagliata supera i limiti di questo manuale. Si è osservato che le resine epossidiche, le epossidiche modificate, quelle acriliche ed i cianoacrilati (anche noti come supercolle) aderiscono bene o in modo eccellente ai metalli preziosi, mentre i poliuretani non sono sufficientemente compatibili. I giunti devono adattarsi perfettamente e dopo l'applicazione dell'adesivo devono essere schiacciati insieme con forza. Si deve ricordare che il giunto non raggiunge subito il massimo di resistenza. Per sviluppare il massimo di resistenza e di durezza possono essere necessari parecchi minuti, ore o anche giorni. Questo processo è noto come "maturazione". Tuttavia l'insieme deve raggiungere in pochi minuti una resistenza sufficiente per essere maneggiato con prudenza. L'esperienza insegnerà quando si possono togliere senza rischi i dispositivi di bloccaggio. I tempi e le temperature di maturazione dipendono dal tipo di adesivo usato.

I servizi tecnici dei fornitori di adesivi dovrebbero essere in grado di consigliare i tipi di adesivo più adatti per la gioielleria in metallo prezioso e di fornire dettagli sulla maturazione e altri argomenti come conservazione, preparazione ed applicazione.

I vantaggi della giunzione con adesivi sono:

- è più veloce e meno costosa di altre forme di giunzione,
- è eseguita a temperatura ambiente o relativamente bassa,
- si possono semplificare i processi di finitura delle superfici,
- si possono unire materiali simili o differenti,
- si possono unire materiali non metallici con i metalli preziosi,
- si possono avere riduzioni dei costi.

Gli svantaggi della giunzione con adesivi sono:

- è necessaria un'accurata preparazione delle superfici,
- la maggior parte degli adesivi non resiste ad un riscaldamento oltre circa 120°C,
- i giunti sono meno resistenti di quelli saldati,
- i detersivi per uso domestico, i solventi, il sudore, ecc. possono danneggiarli,
- è difficile nascondere le "linee di incollaggio" visibili con una successiva elettroplaccatura, poiché questi strati non sono conduttori. Possono causare bollosità nella placcatura.

8 SALUTE, SICUREZZA ED AMBIENTE

I processi di giunzione creano numerosi problemi relativi alla protezione della salute, alla sicurezza ed alla protezione dell'ambiente. Per primi vengono i materiali usati per preparare le superfici da unire e per asportare i residui, che includono solventi, acidi, fondenti, agenti per asportare i fondenti, ecc. Alcuni di questi possono essere considerati materiali pericolosi. Vi sono poi le precauzioni che si devono prendere quando si usano apparecchi come i cannelli a gas/aria o gas/ossigeno, i forni con atmosfera protettiva e le saldatrici laser. Infine, alcune leghe per saldatura possono contenere cadmio (Cd). Questo metallo è potenzialmente pericoloso per la manodopera, poiché i fumi che si diffondono nell'atmosfera quando lo si fonde sono tossici.

In molti paesi la legge richiede che i produttori di materiali come leghe per saldatura, solventi, acidi, fondenti, ecc. forniscano anche **schede informative sulla sicurezza dei materiali**. Queste schede dovrebbero essere inviate ai produttori di gioielleria che ordinano questi materiali. Per avere consigli e informazioni sulle leggi vigenti per l'uso di questi prodotti nei vari paesi, si possono consultare le relative organizzazioni per la protezione della salute e la sicurezza.

8.1 IL CADMIO NELLE LEGHE PER SALDATURA

Per molti anni il cadmio è stato considerato come un importantissimo componente delle leghe d'oro per saldatura. Esso è molto efficace per abbassare il punto di fusione ed impartire alla lega buone caratteristiche di scorrevolezza e umettamento. Tuttavia, il cadmio fonde a 321°C ed ha un punto di ebollizione molto basso (765°C). Perciò ha una elevata tensione di vapore e ciò significa che quando esso o una sua lega fondono, si produce una quantità relativamente grande di vapori di cadmio. Questi reagiscono con l'ossigeno atmosferico e formano fumi brunastri di ossido di cadmio (CdO), che è velenoso. Una esposizione prolungata ai fumi di ossido di cadmio può causare numerose malattie, che includono enfisema polmonare, anemia, danno alle ossa (osteoporosi), danno ai reni e cancro. Sintomi premonitori derivanti dall'inalazione di questi fumi sono irritazione e secchezza del naso, tosse, mal di testa, vertigini, sensazione di freddo, febbre e dolore al torace. Il cadmio si accumula nell'organismo ed ha un tempo di dimezzamento biologico di 30 anni. Ciò lo rende più tossico di altri metalli come il piombo ed il mercurio, che hanno tempi di dimezzamento più brevi. Inoltre, per eliminare questo metallo dall'organismo, non si possono usare cure con agenti chelanti, a causa dell'effetto deleterio prodotto dalla sua escrezione attraverso i reni. A causa dei rischi a cui è sottoposta la manodopera nelle operazioni di saldatura e nella rifusione del rottame, in alcuni paesi le leggi proibiscono l'uso o anche la sola importazione di leghe contenenti cadmio. Possono poi esservi delle regole che limitano la quantità di vapori di cadmio presenti sul posto di lavoro. Per esempio, negli USA la norma OSHA del 1993 limita la concentrazione del cadmio nell'aria sul posto di lavoro a meno di 0,01 mg/m³, per una giornata lavorativa di otto ore. Questo valore è estremamente basso. Nei paesi e nei laboratori dove ancora si usano leghe per saldatura contenenti cadmio, si dovrebbero provvedere ventilazione e sistemi di aspirazione o, in loro mancanza, i lavoratori dovrebbero indossare maschere, rimedio che nei paesi caldi non sarà gradito. Però, anche se alcuni vapori e materiali possono essere aspirati e scaricati

nell'ambiente senza alcun rischio, questo non vale per il cadmio. Esso infatti rappresenta comunque un pericolo, poiché può essere respirato dal resto della popolazione e cadrà sul suolo, entrando nella catena alimentare.

Per questi motivi, anche se in alcuni paesi non vi sono leggi sull'uso del cadmio, **è fortemente consigliato di usare per tutte le operazioni di saldatura leghe senza cadmio**. I lavoratori che usano per la prima volta queste leghe possono lamentarsi che non sono fluide come le leghe contenenti cadmio. La soluzione consiste nel modificare le tecniche di saldatura tenendo conto delle differenze nelle caratteristiche di fusione e scorrevolezza. In molti paesi le leghe per saldatura esenti da cadmio sono largamente usate con successo e non vi sono giustificazioni accettabili per continuare a lavorare con leghe contenenti cadmio.

8.2 SOLVENTI, ACIDI E FONDENTI

Nel corso delle operazioni che precedono la saldatura, i solventi sono usati per eliminare olio o grasso dalle superfici. I solventi organici, come quelli clorurati, sono pericolosi per quattro motivi principali.

1. Sono neurotossici e possono danneggiare il sistema nervoso centrale.
2. Alcuni solventi sono infiammabili o, se sono bruciati in uno spazio ristretto, possono tendere ad esplodere.
3. Molti solventi organici volatili, quando sono scaricati nell'ambiente circostante, inquinano l'aria. In alcuni paesi esistono leggi per il controllo delle emissioni di inquinanti pericolosi nell'atmosfera.
4. Vi sono problemi per lo smaltimento dei solventi usati.

Salomon ha discusso la sostituzione dei solventi organici con detergenti acquosi. Questi possono essere soluzioni a base di acido citrico o di alcali usate a caldo con agitazione con ultrasuoni. I costi di smaltimento di queste soluzioni sono bassi e l'esperienza ha dimostrato che anche i costi operativi sono notevolmente più bassi.

Per asportare la sporcizia e gli strati di ossidi si usano decapaggi acidi. I rischi principali sono l'inalazione di fumi acidi, che possono danneggiare le mucose del naso, la gola ed i polmoni, ed il contatto fisico, che può provocare gravi ustioni della pelle e dei tessuti sottostanti. Contro il primo rischio è necessario disporre di sistemi di ventilazione e di aspirazione, mentre contro il secondo i lavoratori dovrebbero indossare indumenti protettivi, guanti ed occhiali. Dovrebbero essere disponibili punti per il lavaggio degli occhi. Gli acidi possono essere neutralizzati con alcali, come il carbonato o il bicarbonato sodico. Come detto nella Sezione 4.4, **quando si diluisce un acido concentrato per preparare un bagno di decapaggio, si deve aggiungere lentamente l'acido nell'acqua e non il contrario**. La reazione esotermica che avviene quando si aggiunge acqua nell'acido solforico produce molto calore e può provocare una ebollizione istantanea con spruzzi. Come alternativa alla conservazione ed alla miscelazione dell'acido solforico, in alcuni laboratori si usano bagni di decapaggio "di sicurezza". Questi contengono solfato acido (bisolfato) sodico, che, quando è sciolto in acqua con la concentrazione di 220 g/litro, dà una soluzione molto simile all'acido solforico diluito.

Molti fondenti commerciali si basano su fluoborati complessi, borati, fluosilicati e cloruri di metalli alcalini. Vi sono numerosi rischi potenziali di cui i produttori dovrebbero essere al corrente. Il contatto prolungato con la pelle può causare irritazione e, se vi sono taglietti o abrasioni, si dovrebbero prendere precauzioni supplementari.

Se vi sono problemi di questo tipo, i lavoratori dovrebbero indossare guanti o usare

creme protettive. Tagli e abrasioni dovrebbero essere coperti con fasciature adesive impermeabili. Potrebbe essere vantaggioso usare paste di fondenti, poiché ciò evita il contatto che si può verificare quando si mescola la polvere di fondente con acqua. I fondenti irritano anche gli occhi e qualsiasi contatto deve essere curato immediatamente lavando a lungo gli occhi con acqua, fino a 20 minuti. Se si teme che vi sia un danno agli occhi, è necessario ricorrere al medico.

I fondenti sono nocivi anche se vengono accidentalmente ingeriti e dovrebbero essere tenuti lontano da cibi e bevande. È consigliabile non fumare e prima dei pasti si dovrebbero lavare e pulire a fondo le mani e le unghie. Se accadesse di inghiottire del fondente, si deve ricorrere al medico e nel frattempo il paziente dovrebbe bere latte contenente carbonato di calcio (calcare) in sospensione. Il trattamento medico consigliato consiste di iniezioni endovenose di gluconato di calcio al 10% a intervalli di un'ora. Le polveri di fondente dovrebbero essere miscelate in un apposito recipiente, riservato per questo scopo, e non dovrebbero essere mai poste in tazze, scodelle, boccali o bottiglie.

Durante il riscaldamento i fondenti possono emettere un po' di fumo, che, se non vi sono ventilazione o aspirazione adeguate, può causare irritazione degli occhi e delle cavità nasali. Questa è un'altra buona ragione per evitare il surriscaldamento durante le operazioni di saldatura. Tra i prodotti gassosi di decomposizione sono stati identificati il trifluoruro di boro (BF_3) e l'acido fluoridrico (HF). Di solito nella zona in cui si respira le concentrazioni sono relativamente basse, ma, se si verifica inalazione eccessiva, l'operatore deve essere portato all'aria fresca e, se necessario, gli deve essere dato dell'ossigeno. A causa del rischio di edema polmonare, può anche essere necessario tenerlo sotto osservazione continua per 48 ore.

I gas combustibili prodotti dalla saldatura con cannello contengono ossidi di carbonio e di azoto. È poco probabile che causino problemi, purché i cannelli siano usati in ambienti ben ventilati.

Nei laboratori dove fumi e vapori di solventi, acidi, fondenti, ecc., possono essere pericolosi per i lavoratori, dovrebbero sempre essere installati dispositivi di ventilazione o aspirazione o cappe con aspirazione. Sono stati pubblicati progetti di sistemi adatti (Schneller e Prior). È importante che il sistema elimini in modo efficiente i fumi nocivi e le nubi di polvere dal viso dei lavoratori. Ciò può essere controllato con un anemometro o con la "prova del fumo". L'anemometro dovrebbe indicare 30-40 m/minuto. La prova del fumo si esegue ponendo un vassoio con ghiaccio secco (anidride carbonica solida) e acqua calda vicino al lavoratore e osservando se la corrente di fumo è trascinata nel sistema di aspirazione in modo diretto, senza oscillazioni. La distanza dal sistema di aspirazione per cui la corrente di fumo comincia a oscillare corrisponde approssimativamente al punto in cui la velocità dell'aria è 30 m/min. I fumi sono scaricati nell'ambiente esterno e si devono rispettare le eventuali leggi sull'inquinamento dell'atmosfera. Si deve anche badare che gli scarichi dell'aspirazione non siano collocati in punti tali che i vapori possano essere aspirati dalle prese d'aria di edifici vicini.

8.3 SALDATURA IN FORNO E APPROVVIGIONAMENTO DI GAS

Quando la saldatura è eseguita in un forno con atmosfera protettiva, si devono prendere alcune precauzioni.

Per motivi di qualità e di sicurezza si dovrebbe provvedere ad una corretta manutenzione del forno, dei pirometri e delle apparecchiature per la generazione del gas, per esempio dissociatori di ammoniaca o bombole. Sia nell'ammoniaca

dissociata (75% idrogeno/25% azoto) che nell'azoto idrogenato (80-90% azoto/10-20% idrogeno) è presente idrogeno. L'idrogeno è infiammabile e può causare esplosioni. È importante accertarsi che all'uscita dal forno il gas venga bruciato.

In molti casi il gas protettivo è fornito in bombole di forma allungata. È importante che le bombole siano ben fissate ad una parete con catene o siano sostenute con appositi sostegni, per evitare che cadano accidentalmente. I regolatori di pressione del gas dovrebbero essere controllati periodicamente. I tubi di plastica che collegano le bombole al forno o al cannello devono essere in buone condizioni e ben fissati ai portagomma. Se sono collegati ad un sistema di tubazioni per la distribuzione del gas, si deve controllare periodicamente che in esse non vi siano fughe o danneggiamenti.

8.4 PROTEZIONE DEGLI OCCHI E USTIONI

Se si usano cannelli a ossigeno/gas per saldature ad alta temperatura, può essere necessario proteggere gli occhi. Nella luce bianca emessa a temperature $>1000^{\circ}\text{C}$ è presente una forte proporzione di radiazione ultravioletta. Brevi esposizioni possono lasciare sulla retina un'immagine residua, che può influenzare la percezione delle posizioni e dei colori. Esposizioni più lunghe possono causare una sensazione di "sabbia negli occhi", che alla fine può condurre ad un danno della retina o anche alla cecità. Quando esiste questo rischio, ci si può proteggere con gli occhiali da saldatore. **Non usate occhiali da sole.** È necessario usare filtri adatti, che assorbano le radiazioni pericolose, pur lasciando passare una luce sufficientemente intensa per valutare la posizione dei pezzi, la temperatura e la fusione. Per saldare le leghe d'oro o se si usano leghe per saldatura ad alta temperatura, sono consigliati i filtri di grado 5 (Standard britannico BS 679). Può essere vantaggioso acquistare occhiali che si abbassano dopo aver posizionato il pezzo ed aver iniziato il riscaldamento.

L'affermarsi della saldatura con laser come importante tecnica di giunzione comporta che gli operatori debbano essere protetti dalla radiazione laser. Il laser Nd-YAG emette radiazione infrarossa che, anche se invisibile, può danneggiare gli occhi, poiché il cristallino può focalizzarla sulla retina. Se si usa un microscopio come ausilio per posizionare il laser sul pezzo, il rischio può aumentare. Vi sono quattro classi di laser, ma praticamente tutti quelli usati per la gioielleria appartengono alla classe 1, e, purché vengano prese alcune precauzioni, sono intrinsecamente sicuri. Di solito le saldatrici laser sono costruite con dispositivi di sicurezza. Per esempio, gli occhi sono protetti dalla radiazione laser diretta per mezzo di otturatori speciali, che si chiudono durante l'impulso laser. Una finestra-filtro contro la radiazione laser protegge dalla radiazione secondaria, che comprende radiazione infrarossa e ultravioletta. Il laser non può essere attivato finché entrambe le braccia non sono inserite nelle aperture corrispondenti e gli interruttori di protezione attivati. Se la mano è colpita dal raggio laser si possono formare ustioni locali. Di solito un impulso o due provocano solo un lieve fastidio, però numerosi impulsi possono provocare ustioni locali anche profonde, che richiedono cure mediche. Quando si usano le apparecchiature laser non si devono indossare gioielli, come anelli, poiché il raggio laser li può colpire, provocando un rapido riscaldamento e ustioni. Le apparecchiature laser e le macchine per produrre catena dovrebbero avere schermi di protezione con interruttori di sicurezza, che racchiudano completamente la zona di lavoro. In alternativa, gli operatori devono indossare occhiali di protezione contro i raggi infrarossi. Vi è una norma IEC per la sicurezza dalla radiazione delle apparecchiature laser (IEC 825-1 e BS/EN 60825) e si consiglia agli operatori di leggerla, poiché contiene istruzioni specifiche sul loro uso.

9. VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEI GIUNTI

9.1 CAUSE DELLA SCARSA RESISTENZA DEI GIUNTI

Molto spesso, in oggetti che sono stati saldati o uniti con qualunque altra tecnica, il giunto è il punto più debole. Molte sono le cause possibili.

1. Il giunto può essere stato realizzato male. Nel caso della saldatura ciò è spesso indicato come saldatura “fredda” o “secca”. Questo caso sarà discusso più avanti in questa sezione.
2. Può accadere che il giunto non sia abbastanza robusto per sopportare gli sforzi a cui è soggetto durante l'uso. Ciò potrebbe essere dovuto ad una cattiva progettazione o alla presenza di difetti come porosità, intrappolamento di fondente o cricche. Potrebbe anche darsi che la lega per saldatura non sia abbastanza resistente o duttile per una particolare applicazione. Fortunatamente, nel caso delle leghe usate per la gioielleria in oro, di solito questo problema non si presenta. Sono anche poco probabili reazioni tra la lega per saldatura ed i pezzi da unire, che possano portare alla formazione di fasi fragili all'interfaccia.
3. Gli orafi che preparano le loro leghe per saldatura devono badare di non introdurre impurezze che possano infragilire i giunti saldati.
4. Giunti inizialmente buoni possono rompersi durante l'uso a causa di fatica o corrosione. Nei metalli, la fatica è un fenomeno per il quale un pezzo si rompe in seguito a sollecitazioni cicliche, sotto uno sforzo minore di quello richiesto per la rottura immediata.

Nei componenti meccanici questo problema potrebbe essere grave, se la rottura del giunto avesse conseguenze catastrofiche, ma forse nel caso dei gioielli è poco importante. La presenza di un ambiente aggressivo può provocare corrosione, con conseguente erosione, cricatura e rottura finale. La ulteriore presenza di sforzi applicati dall'esterno o di tensione residue, può provocare rottura per tensiocorrosione. Di solito le leghe d'oro per gioielleria e per saldatura resistono bene alla corrosione, ma alcuni ori a bassa caratura sono soggetti a rottura per tensiocorrosione. Negli oggetti riscaldati e raffreddati rapidamente possono essere presenti tensioni interne residue, che possono formarsi nei giunti e nelle adiacenti zone termicamente alterate (Questo argomento è stato trattato in *Gold Technology* n° 8, novembre 1992). Per questo motivo, dopo la saldatura al cannello, è consigliabile fare una ricottura di distensione, facendo scorrere dolcemente la fiamma intorno alla zona del giunto, in modo che la temperatura cali lentamente, invece di temperare il pezzo in acqua o in un bagno di decapaggio. Ovviamente in seguito può essere necessario immergere il pezzo in un bagno di decapaggio freddo per asportare strati superficiali di ossidi. Con la saldatura in forno, la ricottura di distensione dovrebbe avvenire automaticamente, quando gli oggetti sul nastro trasportatore si spostano dalla zona di riscaldamento a quella di raffreddamento.

9.2 VALUTAZIONE DEI GIUNTI

In molte applicazioni meccaniche, specialmente quando la rottura potrebbe avere conseguenze catastrofiche, la valutazione dei giunti è di importanza vitale. È anche

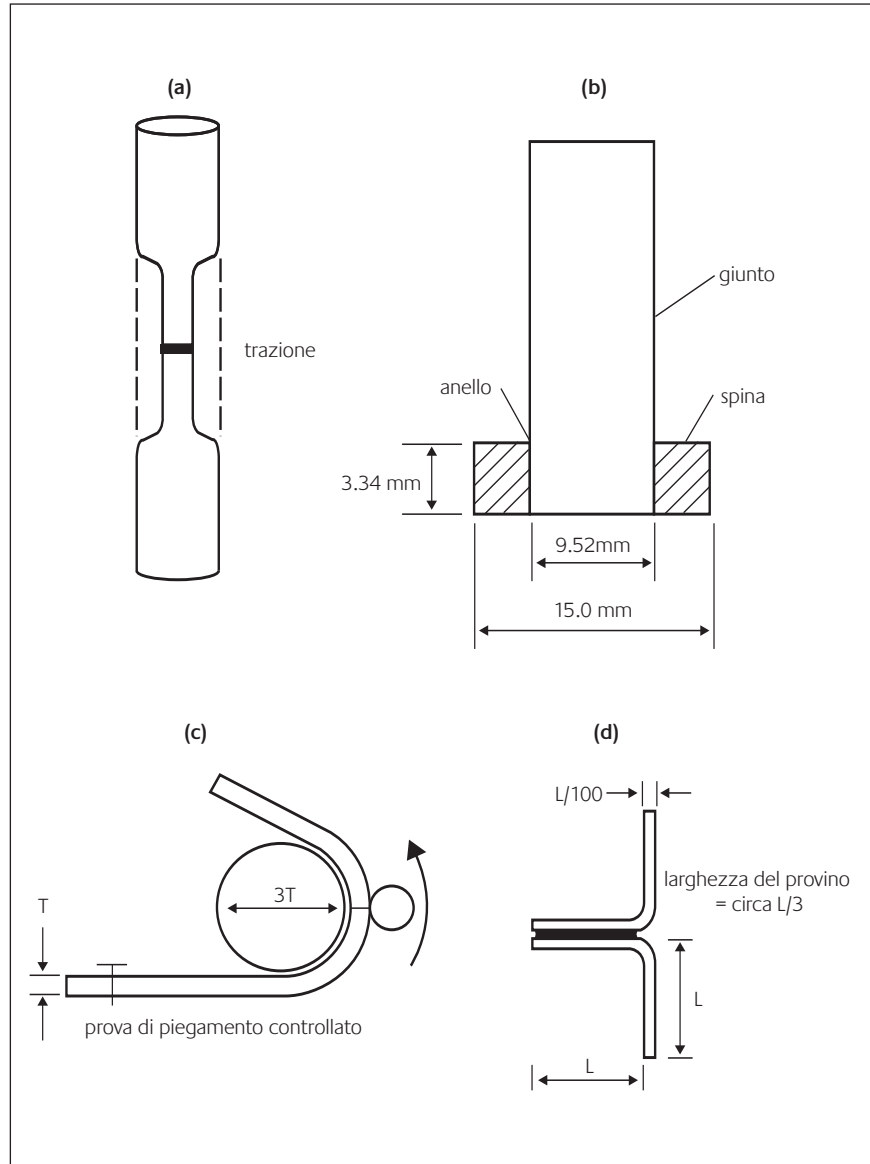


Figura 9.1 Configurazione dei provini: (a) prova di trazione su un giunto di testa, (b) anello e spina per la prova di taglio, (c) prova di piegamento controllato, (d) prova di pelatura

importante come mezzo di controllo della qualità nella fabbricazione di prodotti che richiedono affidabilità, come i componenti di gioielleria prodotti in grande serie, minuteria, pernetti per orecchini, bottoni per risvolti, catena, ecc.

Ciò vale anche per l'artigiano che produce pezzi unici o fa riparazioni, poiché certamente desidera che il cliente sia contento del lavoro eseguito.

Per valutare le caratteristiche e le prestazioni delle leghe da saldatura, è possibile eseguire vari tipi di prove. Per esempio, per stabilire l'umettamento e la fluidità della lega sul metallo da saldare si possono usare le prove di "immersione nel globulo", di risalita del menisco o della goccia sessile. Nella fig. 9.1 è mostrata la configurazione dei provini per misurare rispettivamente la resistenza a trazione, al taglio, al piegamento ed alla pelatura.

Se si vuole che i risultati siano significativi, le dimensioni dei provini ed il

procedimento di misura devono essere standardizzati. Le prove meccaniche non sono sempre in grado di indicare la causa di una scarsa resistenza e possono essere necessarie altre prove. Per queste prove sono necessarie apparecchiature e impianti che vanno oltre le possibilità della maggior parte dei produttori di gioielleria, però possono fornire dati preziosi ai produttori di leghe da saldatura per gioielleria. Nel libro “Principi della saldatura dolce e forte”, Humpston e Jacobson (v. bibliografia) le descrivono in dettaglio.

L'esame visivo è la prima operazione da eseguire per stabilire la qualità di un giunto. Questo esame è limitato alla superficie, non può rivelare difetti interni come cavità e cricche e non fornisce indicazioni sulla resistenza del giunto, ma può dare utili informazioni sul fatto che il giunto sia stato realizzato con successo (fig. 9.2). L'esame visivo può essere migliorato con l'aiuto di una lente da gioielliere o di un microscopio stereoscopico binoculare. Per esempio:

- la superficie del giunto dovrebbe essere liscia e lucente. Ciò indica un buon umettamento ed un buon scorrimento. Una superficie ruvida e granulosa indica che il giunto è “secco” o “freddo”: la lega per saldatura non è fluída correttamente nell'interstizio del giunto.
- Per vedere se si è usata abbastanza lega per completare il giunto, si possono esaminare i raccordi intorno alla saldatura. Questi devono essere lisci ed avere angoli di contatto piccoli con il resto del gioiello. In alternativa, si può vedere se è stata usata troppa lega: questo è uno spreco, che richiede un supplemento di finitura. Nel caso di pernetti per orecchini, bottoni per risvolti, ecc., il giunto deve essere centrato.
- L'uso di un eccesso di pasta per saldatura o lo slittamento dei pezzi da unire possono spalmare la lega fusa, facendola scorrere in zone dove non è desiderata.
- Se sono costretti in fissaggi che non ne permettono la dilatazione, i pezzi possono deformarsi o disallinearsi. Accertatevi che nelle cavità delle piastrine di fissaggio ci sia spazio sufficiente per la dilatazione dei pezzi.
- Esaminate i pezzi nelle piastrine per vedere se tutti, alcuni o nessuno di essi sembrano buoni. Annotate la posizione dei pezzi difettosi. Può essere necessario regolare la velocità del nastro, la temperatura del forno, la distanza tra i pezzi o il



Figura 9.2 Esame di un giunto saldato.
(Per gentile concessione di Krohn Industries)

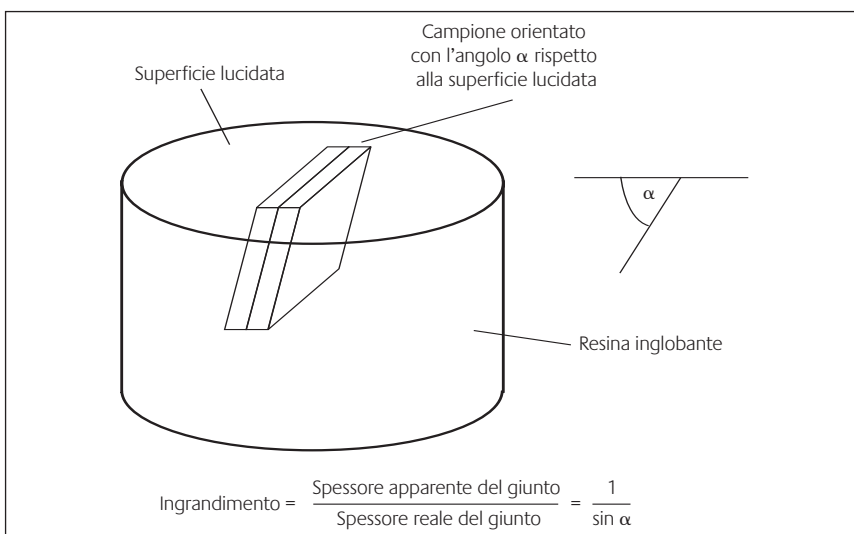


Figura 9.3 Metodo di inglobamento inclinato del campione per ingrandire lo spessore del giunto

carico totale della piastrina. Fate passare prima nel forno delle piastrine vuote, per accertarvi che le condizioni del forno siano quelle giuste per le prove ed i cicli di produzione. **Ricordatevi di cambiare una sola variabile per volta e di registrare tutti i dati per il lavoro futuro.**

- Pezzi con colore alterato possono essere dovuti a sporcizia o ossidi. Sarà necessario controllare il fondente o l'atmosfera del forno.
- Quando pezzi di minuteria sono saldati per fusione su un gioiello, intorno ad una buona saldatura si dovrebbe formare un piccolo alone o cerchio lucido. L'assenza di alone indica che per fare la saldatura è stata usata troppa poca energia. Se il pezzo non è perpendicolare alla superficie del gioiello, si forma un alone asimmetrico o parziale. Eventuali schizzi indicano che la regolazione della corrente era troppa alta e troppa energia è stata immagazzinata e scaricata attraverso la sporgenza. Segni di bruciature indicano un cattivo contatto con i morsetti e gli elettrodi.

La resistenza dei giunti può essere valutata qualitativamente tentando di strapparli o di torcerli con delle pinze ad ago. Ovviamente questa è una prova distruttiva ed è utile solo per controllare la qualità di lotti, usando per esempio un campione di 5 o 10 pezzi su un lotto di 100. I giunti "freddi" si romperanno in modo fragile e probabilmente l'esame delle superfici di frattura indicherà uno scorrimento incompleto della lega da saldatura nell'interstizio del giunto, dovuta o ad una quantità insufficiente di lega o ad una larghezza eccessiva dell'interstizio. Sarà anche possibile vedere se, a causa di un'azione incompleta del fondente, vi erano sporcizia o ossidi.

L'interno di giunti saldati può essere osservato al microscopio, su sezioni del giunto stesso. Si seziona l'oggetto e si ingloba una delle parti in un mezzo adatto, come bachelite o una resina indurente a freddo. Se l'oggetto sezionato è inglobato inclinato rispetto alla superficie del provino, in modo da avere una sezione obliqua, lo spessore di un giunto sottile è efficacemente ingrandito e si può ottenere una migliore risoluzione (fig. 9.3). La superficie della resina con l'oggetto inglobato è levigata e lucidata. Si osserva la superficie dopo lucidatura e dopo un successivo attacco. L'esame può rivelare la presenza di porosità e cricche, oppure si può vedere se reazioni non volute hanno causato la formazione di composti intermetallici fragili. Nelle sezioni precedenti di questo manuale sono già stati mostrati esempi di sezioni micrografiche.

La qualità dei giunti è influenzata anche da altri fattori, relativi alla pulizia ed alla manutenzione delle apparecchiature e dei materiali. Controllate che i tubetti di pasta per saldatura siano conservati in luoghi freschi (con il tempo, la conservazione a temperatura troppo alta (> 30°C) può provocare la separazione della pasta), e che, quando non sono usati, siano chiusi. I tubetti si conservano bene, ma, se sono lasciati aperti, la pasta vicino all'apertura si secca e diventa difficile farla passare attraverso gli aghi. Controllate regolarmente le termocoppie del forno e del dissociatore di ammoniaca, confrontandole con una termocoppia campione e, se necessario, sostituitele.

9.3 PROBLEMI FREQUENTI NELLA SALDATURA

I problemi più frequenti nella saldatura sono riassunti nella seguente tabella:

Problema	Aspetto	Cause possibili	Prevenzione
Giunti "secchi" o "freddi".	I giunti si spezzano e appaiono fragili. Dopo la rottura, le superfici esposte mostrano una cattiva penetrazione della lega.	<p>Presenza di sporcizia o ossidi.</p> <p>Temperatura troppo bassa. La lega non scorre.</p> <p>Riscaldamento disomogeneo di parti con differente spessore.</p> <p>Quantità insufficiente di lega. Interstizio del giunto inadatto.</p> <p>Cattivo fissaggio o sistemazione non adatta.</p>	<p>Controllare il fondente o l'atmosfera del forno.</p> <p>Controllare la temperatura del forno, la velocità del nastro o la tecnica di saldatura al cannello.</p> <p>Vale per la saldatura al cannello. Dirigere la fiamma prima sulla parte più spessa, finché si è vicini alla temperatura di scorrimento della lega e poi scaldare uniformemente.</p> <p>Usare più lega per saldatura. Controllare l'interstizio. Se necessario, riprogettare il giunto o i dispositivi di fissaggio.</p> <p>Riprogettare i dispositivi di fissaggio o posizionare meglio.</p>
Alterazione del colore dei pezzi.	Macchie di colore vicino al giunto.	Sporcizia, grasso o ossidi.	Controllare l'applicazione del fondente o l'atmosfera del forno.
Fusione degli oggetti.	Bordi arrotondati, distorsione dei pezzi.	<p>Fusione di giunti realizzati in precedenza.</p> <p>Surriscaldamento generale.</p> <p>È stata usata troppa lega per saldatura.</p>	<p>Usare la saldatura a più stadi. Se necessario, riprogettare l'oggetto.</p> <p>Controllare la temperatura del forno e la velocità del nastro. Controllare la tecnica di saldatura al cannello. Non prolungare il riscaldamento senza necessità.</p> <p>Usare meno lega.</p>
Porosità.	Piccoli pori tondeggianti sulla superficie o subito sotto.	<p>Surriscaldamento. Volatilizzazione di componenti della lega a basso punto di fusione e con alta tensione di vapore, per esempio zinco.</p> <p>Intrappolamento di fondente.</p>	<p>Controllare la temperatura del forno e della fiamma del cannello.</p> <p>Controllare la velocità del nastro. Non prolungare il riscaldamento. Usare un'altra lega da saldatura. Il fondente dovrebbe scorrere via prima della lega.</p>

10 ULTERIORI LETTURE

LIBRI

1. G. Humpston e D. M. Jacobson, "Principi della saldatura dolce e forte", pubblicato da ASM International, 1993. ISBN 0-87170-462-5.
2. R. W. Messler Jr., "Giunzione di materiali di avanguardia", pubblicato da Butterworth-Heinemann, 1993. ISBN 0-7506-9008-9.
3. W. S. Rapson e T. Groenewald, "Usi dell'oro", pubblicato da Academic Press, 1978. ISBN 0-12-581250-7.
4. E. A. Smith, "La lavorazione dei metalli preziosi", ristampato da N.A.G. Press Ltd, Londra, 1978. ISBN 7198 0032 3.
5. O. Untracht, "Gioielleria - Concetti e tecnologia", pubblicato da Doubleday & Co. Inc., New York, 1982. ISBN 0-7091-9616-4.
6. John C. Wright, "Manuale tecnico per la gioielleria in oro", World Gold Council, Londra, 1997.
7. D. Pinton, "Tecnologia della gioielleria", Edizioni Gold Srl, Milano 1999.

ARTICOLI

Leghe e materiali per la saldatura

1. M. Dabalà, M. Magrini e M. Poliero, "Caratterizzazione di nuove leghe di oro giallo per saldatura esenti da cadmio", *Gold Technology*, n° 24, settembre 1998, p.6.
2. M. Grimwade, "Guida alla comprensione dei diagrammi di stato delle leghe: Parte 1 e 2", *Gold Technology*, n° 29, estate 2000, p.2 e n° 30, inverno 2000, p.8.
3. H. Hilderbrand, "Vantaggi tecnici ed economici nella fabbricazione di gioielleria ottenuti con l'uso di paste per saldatura", Noble Metals and Fabrications Seminar, IPMI, Israele 1985, Publ. IPMI 1985, p.63.
4. H. Hilderbrand, "Paste per la saldatura dell'oro", *Gold Technology*, n° 9, maggio 1993, p.8.
5. D.M. Jacobson e S.P.S. Sangha, "Una lega basso fondente in oro giallo a 22 carati per saldatura", *Gold Bulletin*, **29** (1), 1996, p.3.
6. G. Normandeau, "Leghe d'oro per saldatura esenti da cadmio", Atti del Simposio di Santa Fe, 1989, p.179.
7. G. Normandeau, "Leghe d'oro per saldatura esenti da cadmio: un aggiornamento: tossicità dell'indio e possibilità di esposizione sul posto di lavoro", Atti del Simposio di Santa Fe, 1990, p.239.
8. G. Normandeau, "Leghe per la brasatura dell'oro esenti da cadmio", *Gold Technology*, n° 18, aprile 1996, p.18.
9. G. Normandeau, "Materiali bimetallici rivestiti di lega per saldatura e loro uso per lavorazioni con alta produttività", Atti del Simposio di Santa Fe, 1991, p.149.
10. D. Ott, "Sviluppo di leghe per brasatura in oro a 21 carati esenti da cadmio", *Gold Technology*, n° 19, luglio 1996, p.2.
11. A. Reti, "Prodotti rivestiti con oro - Fabbricazione e aspetti legali", Atti del Simposio di Santa Fe, 1990, p.75.
12. P. Satti, S.P.S. Sangha, M. Harrison e D.M. Jacobson, "Nuove leghe d'oro ad alta caratura per brasatura a bassa temperatura e loro applicazioni", *Gold Technology*, n° 19, luglio 1996, p.7.

Processi di giunzione

1. J. J. Alves, "Saldatura per fusione: applicazione del processo alla minuteria", Atti del Simposio di Santa Fe, 2001, p.15.
2. A. Canaglia, "Rassegna delle tecniche di saldatura nella fabbricazione di catena", *Gold Technology*, n° 17, ottobre 1995, p.20.
3. C. Cart, "Saldatura con arco-plasma per l'industria della gioielleria", Atti del Simposio di Santa Fe, 1991, p.277.
4. C. Cart, "Saldatura in forno e puntatura a resistenza", Atti del Simposio di Santa Fe, 1990, p.375.
5. D. Castle e J. Gavin, "Saldatura in forno: aspetti pratici", Atti del Simposio di Santa Fe, 1999, p.105.
6. C. Esposito, R. Faes e M. Vitobello Van Der Schoot, "Nuove tecnologie di lavorazione con laser per l'ottimizzazione della fabbricazione di gioielleria in oro", *Gold Technology*, n° 20, novembre 1996, p.30.
7. M. Grimwade, "Trattamento termico dei metalli preziosi e delle loro leghe" (comprende una sezione sui principi delle atmosfere protettive), Atti del Simposio di Santa Fe, 1991, p.241.
8. H.Hilderbrand, "Tecniche di saldatura di gioielleria in oro da Bombay, India a Valencia, Spagna", *Gold Technology*, n° 14, novembre 1994, p.22.
9. H.Hilderbrand, "Giunzione dell'oro mediante saldatura a resistenza", *Gold Technology*, n° 24, settembre 1998, p.12.
10. G. Humpston, D.M. Jacobson e S.P.S. Sangha, "Nuovo processo a bassa temperatura per la saldatura di leghe per gioielleria ad alta caratura", *Gold Technology*, n° 9, maggio 1993, p.4.
11. G. Humpston, S.P.S. Sangha e D.M. Jacobson, "Applicazione della brasatura per diffusione alla fabbricazione di gioielleria in leghe a base oro", *Gold Technology*, n° 12, aprile 1994, p.4.
12. G. Humpston, D.M.Jacobson e S.P.S. Sangha, "Saldatura per diffusione: nuovo processo a bassa temperatura per la giunzione di parti di gioielli in oro", *Gold Bulletin*, **26** (3), 1993, p.90.
13. N. Krohn, "Saldatura in forno: Rassegna pratica della produzione", Atti del Simposio di Santa Fe, 1998, p. 51.
14. M. McCoy, "Miglioramento della produttività e della qualità di giunti saldati", Simposio di Santa Fe, 1994, (non pubblicato).
15. S.Valenti, "Uso del laser nella fabbricazione di gioielleria in oro", *Gold Technology*, n° 34, primavera 2002.
16. C. Volpe e R. Lanam, "Utilizzazione del laser per la saldatura di oro e platino per gioielleria", Atti del Simposio di Santa Fe, 1998, p.97.
17. B. Wire, "Saldatura ad alta frequenza per resistenza di gioielleria in lega d'oro", Atti del Simposio di Santa Fe, 1993, (non pubblicato).
18. B. Wire, "Sviluppi nelle apparecchiature per saldatura a resistenza e tecniche pratiche di saldatura", Atti del Simposio di Santa Fe, 1995, p.303.
19. J. C. Wright, "Saldatura laser di gioielleria in platino", Atti del Simposio di Santa Fe, 2001, p.455.

Protezione della salute, sicurezza e tutela dell'ambiente

1. J. Bellows, "Rischi correlati con il lavoro nell'industria della gioielleria", Atti del Simposio di Santa Fe, 1988, p.89.
2. Cookson Precious Metals Ltd., Birmingham, U.K. Catalogo dei prodotti in metallo prezioso – Dati sulla sicurezza dei prodotti in oro.
3. C. Freeman e C. Jones, "Tossicità del cadmio e suoi effetti sulla salute tra gli orafi", Atti del Simposio di Santa Fe, 1989, p.131.
4. M. Grimwade, "Protezione della salute, sicurezza e inquinamento dell'ambiente nella fabbricazione di gioielleria in oro", *Gold Technology*, n°18, aprile 1996, p.14.
5. L. Heathcote, "Fumi prodotti durante la saldatura", *Health & Safety at Work*, novembre, 1981.
6. P. Prior, "Attrezzature di protezione personale in confronto con strutture e apparecchiature di ventilazione", Atti del Simposio di Santa Fe, 1990, p.187.
7. G. Raykhtsaum e D. Agarwal, "Prove di cessione del nichel- Loro validità", *Gold Technology*, n° 32, estate 2001, p.2. Anche: Atti del Simposio di Santa Fe, 2001, p.375.
8. R. Rushforth, "Non fate entrare il nichel sotto la vostra pelle - L'esperienza europea", *Gold Technology*, n° 28, primavera 2000, p.2.
9. E. Salomon, "Neutralizzazione di piccole quantità di materiali residui", Atti del Simposio di Santa Fe, 1990, p.263.

Nota: Gold Bulletin e Gold Technology sono pubblicati dal World Gold Council, Londra. I numeri recenti sono disponibili sul sito web: www.gold.org

Gli Atti del Simposio di Santa Fe possono essere acquistati presso: The Santa Fe Symposium, 7500 Bluewater road NW, Albuquerque, NM 87121-1962, USA.
Tel: +1 505 839 3249, Fax: +1 505 839 3248, E-mail: ct@tbg.riogrande.com,
Sito Web: www.santafesymposium.org

Gli atti dei Seminari IPMI possono essere richiesti allo International Precious Metals Institute, 4400 Bayou Boulevard, Suite 18, Pensacola, Fl. 32503-1908, USA.
Tel: +1 850 476 1156, Fax: +1 850 476 1548.

E-mail: mail@ipmi.org

Sito web: www.ipmi.org

11 FORNITORI DI LEGHE PER SALDATURA E DI APPARECCHIATURE

Vale la pena di sottolineare che, per ottenere giunzioni affidabili in modo ripetibile, è bene acquistare leghe e apparecchiature presso ditte che godano di buona reputazione per la qualità ed i servizi. In particolare, le leghe d'oro per saldatura devono rispettare le regole per la marchiatura, per cui devono contenere la quantità minima di oro richiesta.

È impossibile fornire un elenco completo dei produttori e dei fornitori. Un buon consiglio è visitare una fiera commerciale internazionale (o locale) sulla gioielleria, e visitare gli stands con materiali e apparecchiature, per sapere quali fornitori operano nella vostra zona.

Nota: l'elenco di fornitori che segue non implica l'approvazione di una ditta o dei suoi prodotti da parte dell'autore o del World Gold Council.

LEGHE D'ORO PER SALDATURA E PASTE PER SALDATURA

Questi prodotti sono venduti dalla maggior parte dei fornitori di leghe d'oro specializzati, spesso attraverso agenti locali. Quello che segue è solo un elenco rappresentativo di questi fornitori. Ne esistono anche altri. Molti forniscono anche fondenti per saldatura e apparecchi per il dosaggio delle paste per saldatura.

Cookson Precious Metals Ltd
59-83 Vittoria Street
Birmingham B1 3NZ
Regno Unito
Tel: +44 121 200 2120
Fax: +44 121 200 3222

C.Hafner GmbH
Bleichstrasse 13-17
D-75173 Pforzheim
Germania
Tel: +49 7231 920 230
Fax: +49 7231 920 207

Engelhard-CLAL UK Ltd
Davis Road
Chessington
Surrey KT9 1TD
Regno Unito
Tel: +44 181 974 3000
Fax: +44 181 974 3160

Alpha Guss Metalle & Legierungen GmbH
Bleichstrasse 92,
D-75173 Pforzheim
Germania
Tel: +49 7231 927166
Fax: +49 7231 927168

DMC² AG (Degussa, Metals Catalysts
Cerdec AG)
Precious Metals Division
Rodenbacher Chaussee 4
PO Box 1345
D- 63403 Hanau - Wolfgang
Germania
Tel: +49 6181 590
Fax: +49 6181 593030

Wieland Edelmetalle GmbH
Schwenninger Strasse 13
D-75179 Pforzheim
Germania
Tel: +49 7231 37050
Fax: +49 7231 357959

Heraeus Edelmetall Halbzeug GmbH
Lameystrasse 17
D-75173 Pforzheim
Germania
Tel: +49 7231 200961
Fax: +49 7231 200957

Engelhard-CLAL
Platexis sa
49 Rue de Paris
F-93136 Noisy-Le-Sec
Francia
Tel: +33 1 4850 5050
Fax: +33 1 4850 5151

11 FORNITORI DI LEGHE PER SALDATURA E DI APPARECCHIATURE

Argor-Heraeus SA
Via Moree 14
CH-6850 Mendrisio
Svizzera
Tel: +41 91 646 0191
Fax: +41 91 646 8082

Valcambi SA
Via Passeggiata
CH-6828 Balerna
Svizzera
Tel: +41 91 695 5311
Fax: +41 91 695 5353

Metaux Precieux SA Metalor
Avenue Du Vignoble
CH-2009 Neuchatel
Svizzera
Tel: +41 38 206111
Fax: +41 38 206 609

Hilderbrand & Cie SA
[Paste per saldatura e dosatori]
29 Route de Jussy
Ch-1226 Thônex, Ginevra
Svizzera
Tel: +41 22 349 0024
Fax: +41 22 349 0281

Engelhard-CLAL
H.Drijfhout & Zoon's
Edelmetaalbedrijven BV
PO Box 22666
NL- 1100 DD Amsterdam
Olanda
Tel: + 31 20 5648 600
Fax: +31 20 696 8129

Leg.Or Srl
Via San Benedetto 14/34 Z.I.
I-36050 Bressanvido (Vicenza)
Italia
Tel: +39 0444 660666
Fax: +39 0444 660677
E-mail: info@legor.com

Melt Italiana
Via Martiri della Resistenza 3
I-20090 Fizzonasco di Pieve Emanuele
(Milano)
Italia
Tel: +39 02 9072 2035
Fax: +39 02 9072 2892

ProGold Srl
Via Molinetto 40
I-36075 Montecchio M. (Vicenza)
Italia
Tel: +39 0444 492493
Fax: +39 0444 498336
E-mail: progold@tin.it

Pandora Srl
Via Galvani 14
I-20094 Corsico (Milano)
Italia
Tel: +39 02 4586 4035
Fax: +39 02 4586 9840
E-mail: pandora@aladata.it

Italabras
Strada del Balsego 6
I-36100 Vicenza
Italia
Tel: +39 0444 564423
Fax: +39 0444 960808
E-mail: italbras@italbras.it

Quimijoy SA
Políg Industrial Pla d'en Coll
c/. Gaià, 49
E-08110 Montcada I Reixac (Barcelona)
Spagna
Tel: +34 93 565 0990
Fax: +34 93 575 1556
E-mail: quimijoy@quimijoy.com

Imperial Smelting & Refining Co of
Canada Ltd
451 Denison Street
Markham
Ontario L3R 1B7
Canada
Tel: + 1 905 475 9566
Fax: +1 905 475 0703

Fusion Inc
[Paste per saldatura e dosatori]
East 355th Street
Willoughby, Ohio 44094
USA
Tel: +1 440 946 3300
Fax: +1 440 942 9083
[Anche nel Regno Unito, Germania & Giappone]

Stern-Leach
49 Pearl Street
Attelboro, MA 02703
USA
Tel: +1 508 222 7400
Fax: +1 508 699 4030

Heraeus PMR Inc
11135 Walden Avenue
Alden
NY 14004
USA
Tel: +1 716 685 2200
Fax: +1 716 685 2699

Engelhard-CLAL LP
700 Carteret Road
Carteret
NJ 07008
USA
Tel: +1 732 205 5842
Fax: +1 732 205 7476

Metalor Corp.
255 John L. Dietsch Boulevard
PO Box 255
N. Attleboro
MA 02761
USA
Tel: +1 508 699 8800
Fax: +1 508 695 1603

United Precious Metal Refining Inc
23120 West Lyons Avenue, #5-491
Newhall
CA 91321
USA
Tel: +1 805 254 0523
Fax: +1 805 254 0525

Rio Grande
7500 Bluewater Road NW
Albuquerque,
N.M. 87121-1962
USA
Tel: +1 505 839 3300
Fax: +1 505 839 3310
E-mail: info@riogrande.com

Ijima Precious Metals Co Ltd
2-5-10 Nishi Nippori
Arakawa-Ku
Tokyo 116 0013
Giappone
Tel: +81 3 3803 1301
Fax: +81 3 3891 0213

Ishifuku Metal Industry Co Ltd
3-20-7 Uchikanda
Chiyoda-Ku
Tokyo 101 8654
Giappone
Tel: +81 3 3252 3143
Fax: +81 3 3254 4497

Mitsubishi Materials Corporation
Shinmaru Building
1-5-1 Maranouchi
Chiyoda-Ku
Tokyo 100-8222
Giappone
Tel: +81 3 5252 5430
Fax: +81 3 5252 5442

Tanaka Kikinzoku Kogyo KK
2-6-6 Nihonbashi Kayabacho
Chuo-Ku
Tokyo 103 0025
Giappone
Tel: +81 3 3668 0025
Fax: +81 3 3667 6479

Tokuriki Honten Co Ltd
2-9-12 Kajicho
Chiyoda-Ku
Tokyo 101-0044
Giappone
Tel: +81 3 3252 0191
Fax: +81 3 3258 1234

APPARECCHIATURE

Questo elenco è più difficile da compilare, poiché vi sono moltissime ditte che producono cannelli a gas, generatori di idrogeno e ossigeno (saldatrici ad acqua), forni per saldatura ed altri apparecchi specializzati. Quella che segue è solo una piccola selezione:

Horbach GmbH
[Forniture general]
Am Markt 7
D-6580 Idar-Oberstein 2
Germania

Rio Grande
[Forniture general]
7500 Bluewater Road NW
Albuquerque,
N.M. 87121-1962
USA
Tel: +1 505 839 3300
Fax: +1 505 839 3310
E-mail: info@riogrande.com

Paul H. Gesswein & Co Inc
[Forniture general]
255 Hancock Avenue
Bridgeport
CT 06605
USA
Tel: +1 203 366 5400
Fax: +1 203 366 3953
E-mail: gessweinco@aol.com

IECO Srl
[Forni]
Via Monte Verena 20
I-36022 San Zeno di Cassola (Vicenza)
Italia
Tel: +39 0424 570313
Fax: +39 0424 570591

11 FORNITORI DI LEGHE PER SALDATURA E DI APPARECCHIATURE

Laservall Spa
[*Saldatrici Laser*]
Zona Industriale, 5/bis
I-11020 Donnas (Aosta)
Italia
Tel: +39 0125 804478
Fax: +39 0125 804509
E-mail: help@laservall.com

Rofin-Sinar Laser GmbH
[*Saldatrici Laser*]
Berzeliusstrasse 83
D-22113 Hamburg
Germania
Tel: +49 40 733 630
Fax: +49 40 733 63100

Idroenergy
[*Saldatrici ad acqua*]
Via dell'Artigianato 2
I-57121 Livorno
Italia
Tel: +39 0586 425668
Fax: +39 0586 425288
E-mail: idroenergy@interbusiness.it

Crafford Precision Products Co
[*Saldatrici Laser*]
1 Industrial Court
PO box 15155
Riverside,
R.I. 02915
USA
Tel: +1 401 438 1500
Fax: +1 401 434 7260
E-mail: sales@crafford.com

Daisy Srl
[*Saldatrici elettriche a resistenza*]
Via dell'Astronautica 12
I- 36016 Thiene (Vicenza)
Italia
Tel: +39 0445 380444
Fax: +39 0445 380255
E-mail: daisy@pn.itnet.it

Schultheiss GmbH
[*Macchine per saldatura*]
Pforzheimer Strasse 82
D-71292 Frieolzheimer
Germania
Tel: +49 7044 94540
Fax: +49 7044 945440

Frisch GmbH
[*Saldatrici a diffusione*]
Sankt-Hubertus-Strasse 33A
D-75181 Pforzheim
Germania
Tel: +49 7231 788138
Fax: +49 7231 788139
E-mail: frisch-gmbh@t-online.de

Mario Di Maio Spa
[*Apparecchiature generali*]
Via Paolo di Cannobio 10
I-20122 Milano
Italia
Tel: +39 02 809926
Fax: +39 02 860232

12 RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia molte persone e molte ditte per l'aiuto e la cooperazione prestati. In particolare, molte figure sono state riprodotte per gentile concessione di Degussa GmbH, Germania, H.H.Hilderbrandt & Cie, Svizzera, Rio Grande Inc., USA, Murray Bovin, USA, Triad Inc, USA, Rofin-Basel, UK, Krohn Industries, USA, Quimijoy s.a., Spagna, Sherwood Scientific Ltd, UK, IECO Srl, Italia.

Altre figure sono state adattate da quelle presenti nel libro di Humpston e Jacobson "Principi della saldatura dolce e forte".

L'autore ringrazia anche il World Gold Council per il sostegno ed i consigli ed il prof. Giovanni Baralis per la traduzione dell'edizione italiana e per i suoi utili suggerimenti. Egli ringrazia anche il Dr David Jacobson e l'Editor, il Dr Christopher W. Corti, per i commenti costruttivi e per il sostegno fornito.

PUBBLICAZIONI TECNICHE DEL WORLD GOLD COUNCIL

I prezzi sono validi per il 2002

1. **Technical Manual for Gold Jewellery.** Guida pratica per la tecnologia di fabbricazione di gioielleria in oro. Pubblicato nel 1997. Ristampato nel 2001. Costo: £ sterline 45 (circa US\$ 75), spese postali incluse.
2. **Investment casting.** Manuale di consigli tecnici per gli orafi. Pubblicato nel 1995. Costo £ sterline 10 (circa US\$ 216), spese postali incluse.
3. **The Assaying and Refining of Gold.** Guida per il produttore di gioielleria in oro. Pubblicato nel 1997; 2a edizione pubblicata nel 2001. Costo: £ sterline 5 (circa US\$ 8), spese postali incluse.
4. **Handbook on Casting and Other Defects in Gold Jewellery Manufacture.** Pubblicato nel marzo 1998. Ristampato nel 2001. Edizione in italiano pubblicata nel 2002. Costo: £ sterline 12 (circa US\$ 20), spese postali incluse.
5. **Finishing Handbook.** Pubblicato nel marzo 1999. (Sono disponibili le edizioni in inglese ed in italiano). Costo: £ sterline 16 (circa US\$ 27), spese postali incluse.
6. **Handbook on Soldering and Other Joining Techniques.** Pubblicato nel 2002. (Sono disponibili le edizioni in inglese ed in italiano). Costo: £ sterline 16 (circa US\$ 27), spese postali incluse.

Nota: alcune pubblicazioni possono essere disponibili in altre lingue. Consultate il vostro ufficio locale del WGC. Edizioni in francese di alcune pubblicazioni sono disponibili presso CETEHOR, 39 Avenue de l'Observatoire, BP 1145, F-25003 Besançon Cedex, Francia. Tel: +33 381 539900, Fax: +33 381 539901, E-mail: info@cetehor.com

RIVISTE TECNICHE

Gold Bulletin – Pubblicata trimestralmente, è una rivista dedicata alla scienza, alla tecnologia ed alle applicazioni dell'oro. I numeri recenti sono disponibili sul sito web del World Gold Council: www.gold.org

Gold Technology – Pubblicata tre volte all'anno, è una rivista dedicata ai materiali, alla tecnologia ed alle pratiche ottimali per la produzione di gioielleria in oro. È distribuita gratuitamente dagli uffici locali del WGC (esce in inglese ed in italiano; alcuni numeri in arabo e in turco sono disponibili presso gli uffici locali del WGC). È disponibile anche sul sito web www.gold.org. Sono disponibili copie dei numeri arretrati (in inglese, alcune anche in italiano ed in tedesco).

Serie completa dei numeri arretrati: costo £ sterline 30 (circa US\$ 48), per l'imballaggio e la spedizione.

Tutte le pubblicazioni sono disponibili presso:

World Gold Council, International Technology,
45 Pall Mall, London SW1Y 5JG, Regno Unito

Tel: +44 20 7930 5171, Fax: +44 20 7839 6561, E-mail: chris.corti@wgclon.gold.org

Oppure consultate il vostro ufficio locale del World Gold Council.

Pagamento in **£ sterline** mediante assegno bancario o vaglia postale (non si accettano carte di credito) o bonifico sul conto bancario del World Gold Council:

Barclays Bank plc., PO Box 15165, 50 Pall Mall,
London SW1A 1QF, Regno Unito

Codice bancario: 20 67 59, Conto n° 70964271

Tutte le spese sono a vostro carico. Si prega di inviare la conferma del pagamento insieme all'ordine.

