



Eddie Bell
NEUTEC USA, Albuquerque, NM USA

Eddie Bell è il Direttore della NEUTEC USA e fondatore del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology. Profondo conoscitore del lavoro dell'orafo, è considerato uno dei massimi esperti del processo di colaggio a cera persa. Partecipa ai più importanti convegni internazionali del settore, sempre con memorie originali, dal profondo approccio pratico.

Esistono molte false convinzioni riguardo le perdite in peso di metallo prezioso durante le fusioni. Ma si tratta sempre di reali perdite? E se non sono perdite, dove è andato a finire l'oro? Nella memoria si discute di questi aspetti e vengono forniti alcuni utili suggerimenti su come ridurre queste "perdite".

Controllo delle perdite in peso quando si fondono leghe d'oro

Introduzione

Intorno alla scomparsa dell'oro esistono molte idee sbagliate. Gli orafi ci chiedono spesso quanta perdita alla fusione sia normale e come recuperare l'oro "perso" durante la fusione.

Quasi tutti quelli che hanno colato oro hanno osservato perdite alla fusione. In parole semplici, la perdita alla fusione è un calo nel peso totale recuperato, rispetto al peso totale fuso. Perdite alla fusione possono verificarsi in tutte le operazioni di fusione, compresa la fusione di minerali, la preparazione di leghe, il colaggio, la produzione di graniglia. Ma l'oro è veramente "perso"? Se non è perso, dove è andato e come lo si può recuperare? E, cosa più importante, cosa si può fare per ridurre al minimo la perdita alla fusione? Questa memoria ha lo scopo di discutere le varie cause di scomparsa del metallo (escludendo i furti) e di consigliare alcune soluzioni.

Cause della perdita alla fusione

Nella maggior parte delle fonderie di oro le tre operazioni di fusione più frequenti sono: la preparazione delle leghe, la rifusione di canali di colata e altri rottami puliti per produrre graniglia ed il colaggio vero e proprio. Qui di seguito sono trattati 11 punti che devono essere gestiti in modo opportuno per controllare e ridurre al minimo la perdita alla fusione.

Crogioli porosi

È possibile che un fonditore subisca una sensibile perdita con leghe ad alta caratura non contenenti zinco ed una perdita molto piccola con leghe a bassa caratura con alto zinco. Vi potreste chiedere come è possibile, perché sembrerebbe molto più logico il contrario. In ogni tipo di crogiolo, ceramico o di grafite, l'oro si infila in pori troppo piccoli per essere visibili, ma il problema si presenta più spesso quando, pensando di risparmiare, si usano crogioli acquistati ad un prezzo leggermente inferiore. Se assorbe un poco del vostro oro, la grafite da poco prezzo non è un buon affare. Non pensate che i crogioli ceramici siano meglio. La grafite è ancora il materiale preferibile per i crogioli per oro e argento. Però occorre usare grafite di ottima qualità. Si è constatato che quanto più alto è il contenuto in oro di una lega, tanto più compatto deve essere il crogiolo. L'oro può essere recuperato dai crogioli di grafite bruciandoli nel forno di calcinazione dei cilindri, mentre per i crogioli di ceramica si deve ricorrere ai servizi di un raffinatore.

Fondenti

Il fondente è usato per ridurre la quantità di scoria prodotta durante la fusione e per rendere più fluido il metallo¹. Di solito si usano fondenti basati su acido borico o borace, che fondono al di sotto del punto di liquidus delle leghe di oro e argento e formano una pellicola vetrosa sul metallo. Nel caso delle fusioni all'aria questa pellicola serve a proteggere il metallo dall'ossigeno dell'aria e, ostacolando l'ossidazione, riduce grandemente la perdita di zinco². Il fondente può eliminare impurezze dal metallo, però il metallo dovrebbe essere molto inquinato perché la differenza di peso fosse misurabile con le bilance normali. Goccioline di metallo possono essere catturate dal fondente e rimanere nel crogiolo. Quanto più il fondente è viscoso e quanto più spesso è lo strato di fondente, tanto più è probabile che un poco di metallo resti intrappolato. Inoltre è più facile che siano intrappolate le leghe a bassa caratura. Sembra che le leghe contenenti silicio aderiscano al fondente più facilmente di quelle che non lo contengono. Normalmente questo problema non si presenta nei moderni apparecchi di colaggio chiusi, poiché con essi non è necessario usare fondenti. I fonditori che usano macchine di colaggio centrifughe possono notare variazioni di peso irregolari, come perdite su tre o quattro alberelli e poi un'eccedenza su quello successivo.

Queste variazioni irregolari si possono spiegare facilmente: se non si asporta il fondente prima del colaggio, si possono formare nell'alberello inclusioni di fondente che causano l'incremento di peso. Se invece goccioline di metallo restano intrappolate nel fondente, l'alberello sarà un poco più leggero. Con il susseguirsi delle operazioni di fusione le goccioline si combineranno formando gocce più grandi, che alla fine vengono colate, rendendo l'alberello un po' più pesante della carica. Se il fondente è solubile in acqua (cioè è acido borico), il metallo può essere ricuperato dal fondente che rimane nel crogiolo facendolo bollire in acqua fino a dissoluzione del solvente e raccogliendo poi il metallo su un filtro. Il contributo del fondente all'apparente perdita di metallo dipende dal tipo di fondente, dal quantitativo usato, dalle condizioni e dal tipo di lega. Si è usata la parola "apparente", perché in realtà il fondente non è responsabile della scomparsa del metallo, ma lo si deve trattare in modo opportuno.

Boro e silicio

Il silicio è aggiunto alle leghe d'oro per ridurre la sensibilità all'ossigeno e per aumentarne la fluidità³. Il silicio è insolubile nell'oro e nell'argento, per cui la quantità che se ne può aggiungere dipende dal contenuto di rame nella lega. Il silicio reagisce con l'ossigeno molto più facilmente dello zinco e del rame. Esso protegge il metallo fuso combinandosi con tutto l'ossigeno disponibile e trasformandosi nel suo biossido (silice), che precipita lasciando una visibile scoria vetrosa nel crogiolo ed un sottile strato invisibile sulla superficie dei getti.

Ovviamente, tutto ciò che precipita mancherà quando, dopo il colaggio, il metallo sarà pesato e si può registrare una perdita alla fusione.

In origine il silicio era aggiunto nelle leghe d'oro per risolvere problemi che derivavano dalla fusione e dal colaggio in presenza di aria, che causa la formazione di ossidi di rame e di nichel⁴. Nei sistemi aperti, in cui è presente l'aria, quando si fondono e si colano leghe d'oro contenenti silicio, ci si aspetta di perdere circa il 20% del silicio. L'entità della perdita di silicio dipende molto dalla conduzione del processo: temperature più alte e una più lunga esposizione all'aria ne incrementano la perdita. Di solito i processi di fusione all'aria non sono molto ripetibili ed è probabile che anche le perdite di silicio siano variabili. In ogni caso la perdita di silicio rende la lega leggermente più ricca in oro. Quando le leghe progettate per essere fuse all'aria sono invece fuse in un impianto chiuso, dove aria e ossigeno sono assenti, il silicio non si consuma con la velocità prevista. Poiché invece si ha una perdita di zinco, quando si ricicla il metallo più volte è possibile che la concentrazione del silicio aumenti. L'arricchimento in silicio può avere parecchi effetti sfavorevoli, che comprendono fragilità, punti duri, riempimento incompleto⁵ e grano grossolano. Questo fenomeno è chiamato "slittamento del silicio" e lo si elimina passando a leghe con contenuto di silicio più basso, meno di circa 200 ppm per il 18 K fino a 500 ppm per il 9 K, invece di rispettivamente 350 o 2500 ppm⁶. Quando si cola in sistemi chiusi, talora si vede della scoria depositata sul fondo dei crogioli di grafite. Perché il silicio precipita se non vi è ossigeno? Nei sistemi che si affidano al vuoto per estrarre l'aria prima di riempire l'apparecchio con argon o azoto, potrebbero esserci delle piccole perdite e, finché la pressione interna è inferiore a quella atmosferica, l'aria si infiltrerà nell'apparecchio. Oppure per qualche altra ragione l'apparecchiatura non è libera da ossigeno come dovrebbe essere: per esempio il gas protettivo non è sufficientemente puro. Potrebbe anche accadere che silice o silicati fossero già presenti nella lega prima che questa fosse introdotta nel crogiolo.

Perché sembra che alcune leghe lascino più residui di scoria di altre di contenuto simile di silicio? Ho detto "sembra" perché la variabile può non essere la lega, ma qualche altro fattore come il cambiamento dei parametri operativi dell'apparecchio di colaggio. Per esempio, potrebbero essere stati fissati un tempo di lavaggio più breve o una temperatura più alta, con allungamento della permanenza allo stato fuso. Secondo Dieter Ott⁷ potrebbe anche essere perché "... il materiale contiene differenti quantità di ossidi, per cui differenti leghe producono quantità differenti di silicati. Anche la procedura di preparazione della lega ha un effetto. L'uso di una lega madre è differente dall'uso separato dei vari metalli. Il rame può contenere molto ossido, mentre l'argento di solito contiene ossigeno disciolto. Anche il tipo di lega può produrre qualche effetto. Leghe con bassa solubilità per il silicio (per es., povere di rame), possono causare la segregazione di componenti a basso punto di fusione, che si possono ossidare facilmente."

Si ritiene che una sottile pellicola di silice sulla superficie del fuso inibisca la perdita di zinco, ma, come vedremo in seguito, l'efficienza di questo processo può dipendere da vari fattori, come temperatura, pressione, mescolamento e volume del metallo fuso.

Il silicio abbassa la temperatura di solidus più di quella di liquidus ed allunga il tempo necessario per la solidificazione della lega⁸. Per quanto riguarda la perdita di zinco, questi fattori possono compensare tutti i vantaggi, ma, per quanto ne so, non sono stati fatti degli studi su questo argomento.

Con qualsiasi sistema di colaggio, la silice che si raccoglie nel crogiolo può intrappolare goccioline di metallo, nello stesso modo del fondente, e non la si dovrebbe trascurare. Per il fonditore è difficile recuperare il metallo intrappolato nella scoria di silice o silicati ed è meglio affidarsi ad un raffinatore.

Nella letteratura il boro è spesso citato come un'aggiunta benefica per le leghe d'oro, poiché è un potente disossidante ed un affinatore del grano. Però non è probabile che forni precipitati in quantità misurabili, poiché è un elemento leggero e di solito fin dall'inizio il metallo ne contiene molto poco.

Guaine di termocoppie e bacchette per il mescolamento

La grafite è considerata un materiale che non è bagnato dalle leghe d'oro, ma fondenti e silice possono far aderire il metallo alle guaine delle termocoppie o alle bacchette di mescolamento nello stesso modo che accade per il crogiolo. Il metallo bagnerà la maggior parte dei materiali ceramici e tutto il metallo che aderisce ad una bacchetta di mescolamento è perso per il colaggio, ma non è impossibile recuperarlo.

Tempra

Tutto il refrattario e l'acqua della tempra dei cilindri devono essere filtrati attraverso un setaccio a maglie fini. Goccioline di metallo possono staccarsi dalla materozza e dalla superficie del refrattario e parti dei getti colati possono staccarsi dall'alberello durante la tempra ed andare persi nei fanghi di refrattario⁹. Dopo aver raschiato la zona della materozza dei cilindri per recuperare il materiale ad alto tenore, Schneller ha riferito di ricuperi tra 40 e 50 grammi di metallo prezioso per tonnellata di refrattario. Se non lo si recupera e non se ne tiene conto, diventerà parte della cosiddetta perdita alla fusione, ma se lo si gestisce bene, la maggior parte di questo metallo può essere recuperata.

Inquinamento

Alberelli che non sono stati completamente liberati dal refrattario provocano un calo di metallo quando sono rifusi. La presenza di scoria nel crogiolo dopo la fusione è un indizio sicuro che il metallo non era perfettamente pulito. Le stesse persone che hanno molta cura di non pesare metallo bagnato, pesano poi metallo sporco. Ve ne stupite?

Errore delle bilance

Quando si pesano lotti di graniglia metallica per ogni alberello da colare, talvolta la somma delle singole pesate non è uguale al peso di tutti gli alberelli pesati insieme. Ciò accade perché le bilance elettroniche arrotondano le pesate in più o in meno e gli errori possono elidersi o sommarsi. Procuratevi il peso esatto di ogni contenitore e di tutti i

contenitori insieme. Poi misurate il peso totale di ogni lega prima e dopo il colaggio. Accertatevi di usare la stessa bilancia prima e dopo e controllatene spesso la taratura.

Trascuratezza

Non mi soffermerò su questo aspetto, ma un comportamento trascurato può riempire gli apparecchi di colaggio, gli scarichi ed i bidoni della spazzatura di metallo prezioso, con perdita di molto denaro per anno.

Spruzzi e gocce sparse

Secondo l'apparecchiatura usata, si possono avere più o meno spruzzi e spargimento di gocce durante le varie operazioni di fusione. Le macchine di ultima generazione sono progettate in modo da ridurre al minimo questo problema. Se si lasciano cadere grossi pezzi di metallo nel bagno fuso, si possono provocare spruzzi che, se non sono raccolti con cura, causeranno un calo, che di solito è registrato come perdita alla fusione. Lo riempimento eccessivo di un cilindro o un flusso di colaggio non centrato possono far andare il metallo in punti dai quali è difficile recuperarlo. Graniglia per colaggio cava e piena d'acqua fa aumentare il peso e poi, quando è fusa per il colaggio, piccole esplosioni di vapore mandano spruzzi fuori dal crogiolo. L'acqua e le particelle di metallo finite fuori dal crogiolo vanno perse e sono registrate come perdite alla fusione.

Taglio degli alimentatori

Quante volte avete visto piccole scaglie di metallo vicino al posto dove si tagliano gli alimentatori? Io penso che tutti raccolgano questo metallo, ma lo attribuiscono alla colata o lo registrano come perdita alla fusione? Non è insolito che le cesoie per il taglio degli alimentatori sparino un pezzetto di metallo attraverso il locale. Ovviamente lo si raccoglie, ma, per dare una valutazione della perdita alla fusione, è bene pesare gli alberelli prima di tagliare gli alimentatori.

Evaporazione

Finora abbiamo esaminato 10 possibili cause di calo di metallo che potrebbero essere attribuite alla perdita alla fusione, ma che potrebbero essere facilmente controllate. La maggior parte di esse, se valutate nel modo giusto, risulta non essere una perdita di metallo attribuibile a quella causa, ma l'evaporazione è una cosa differente. Non sto parlando di qualcosa che non si trova più perché è stato messo fuori posto, come il bambino che non trova più una calza e dice alla mamma che è evaporata. Sto invece parlando di un processo in cui un liquido subisce una trasformazione di fase e diventa vapore. Nella fusione di leghe per gioielleria il principale colpevole è lo zinco, ma anche l'argento può andare perso per evaporazione.

Argento

Nelle leghe d'oro l'argento è usato per controllare il colore e la resistenza meccanica. È facilmente solubile nell'oro e nel rame e fin dai tempi più antichi è stato un elemento di lega favorito. È noto da molti secoli che con un opportuno bilanciamento di rame e di argento si ha una lega che può essere indurita, per migliorare le caratteristiche meccaniche. Attualmente si producono leghe che contengono argento e metalli del gruppo del platino, più precisamente platino e palladio, e nella preparazione delle leghe è necessario scaldare l'argento fino a temperature che per questo elemento sono insolite. Da 961°C a 1230°C la pressione di vapore dell'argento cresce di tre ordini di grandezza¹⁰ ed a circa 1300°C l'argento genera una apprezzabile quantità di vapore. Aumentando la temperatura, aumenta anche la quantità di vapore. Quando l'argento è mantenuto al di sotto di 1020°C l'evaporazione non è apprezzabile.

Ruolo dello zinco nella perdita alla fusione

Per le leghe d'oro la causa più comune di perdita alla fusione è l'evaporazione dello zinco. Di solito una lega è una miscela di soluzioni solide. Ciò significa che nella lega ogni elemento conserva alcune delle sue proprietà fisiche. Una delle proprietà fisiche dei metalli è che possiedono un punto di ebollizione, cioè una temperatura alla quale la loro pressione di vapore è uguale alla pressione atmosferica ed essi bollono. Il punto di ebollizione dello zinco alla pressione di 1 bar è 907°C ed è più basso della temperatura di preparazione o di colaggio della maggior parte delle leghe d'oro che contengono zinco. Quando lo zinco fonde, comincia ad emettere vapore. A mano a mano che la temperatura del metallo fuso aumenta, lo sviluppo di vapori di zinco cresce molto rapidamente. La quantità di zinco evaporata è funzione di quattro parametri: temperatura, concentrazione, tempo e pressione.

Abbiamo già discusso l'effetto della temperatura sull'evaporazione dello zinco, ed ora considereremo l'effetto del tempo e della pressione. È ragionevole pensare che, quanto più a lungo il metallo è mantenuto allo stato liquido, tanto più si avrà evaporazione. Quando si abbassa la pressione, si abbassano anche il punto di ebollizione e la temperatura richiesta per far evaporare rapidamente lo zinco. In realtà, lo zinco può continuare ad evaporare anche dopo che la lega è stata colata. Tracce di zinco evaporato possono essere trovate ovunque. Depositi biancastri sulla punta dei cannelli e nelle apparecchiature di colaggio ed i vapori visibili che salgono dal metallo possono essere visti in tutti i reparti di colaggio.

Slittamento della caratura

La perdita di metallo alla fusione causata dall'evaporazione dello zinco dà origine a una cosa che chiamiamo "slittamento della caratura". Questo è l'arricchimento in oro di una lega che si verifica quando i metalli meno nobili evaporano durante la fusione. Quando la caratura scivola verso l'alto, il produttore regala dell'oro, senza neanche saperlo.

I vantaggi dello zinco

Se lo zinco è il principale colpevole dello slittamento della caratura, deve esserci qualche buona ragione per aggiungerlo alle leghe d'oro. Perciò potrebbe essere utile discutere l'effetto dello zinco su varie proprietà delle leghe d'oro per gioielleria. Si può sostenere che, dopo il contenuto in oro, il colore sia la caratteristica più importante delle leghe d'oro per gioielleria. Lo zinco può avere un effetto importante sul colore di una lega d'oro¹¹. Nel caso dell'oro bianco, lo zinco ha un apprezzabile effetto sbiancante. Nell'oro giallo lo zinco può sostituire vantaggiosamente l'argento, per ottenere leghe con il colore desiderato e densità più bassa¹².

Effetto dello zinco sulla densità

Dal momento che l'oro è venduto a peso, variazioni della densità delle leghe influiscono sul costo di produzione degli oggetti d'oro e lo zinco può avere un forte effetto sulla densità.

Lo Handy Book of Precious Metals¹³ elenca parecchie leghe di oro giallo a 14 K (tab. 1), che presentano una differenza del 7% tra il valore massimo ed il valore minimo della densità. Tuttavia, quando si considerano anche l'accoppiamento di colore e la durezza, è più probabile che la differenza di densità sia da 3 a 4%. Se un oggetto prodotto con la lega 212 pesa 10 grammi, lo stesso oggetto prodotto con la lega 29 ne pesa solo 9,34 ed il valore in oro fino usato per produrlo sarà inferiore di \$ 4,71. Nella produzione in serie di grandi quantità ciò rappresenta molto denaro.

Tabella 1

Lega Handy #	DENSITÀ Tr. Oz.*/Cu. In.	PESO RELATIVO GRAMMI	VALORE DELL'ORO FINO A \$380.00 / Tr. Oz	PESO RELATIVO GRAMMI
212	7,22	10	\$71,47	--0--
660	6,95	9,63	\$68,83	\$2,64
515	6,93	9,6	\$68,61	\$2,86
2	6,9	10	\$71,47	--0--
516	6,88	9,52	\$68,04	\$3,43
Satin	6,76	9,36	\$66,90	\$4,57
29	6,74	9,34	\$66,76	\$4,71

*Tr. Oz. = Oncia Troy = 31,1 g;

Cu. In. = Pollice cubico = 16,39 cm³

Per passare da Tr. Oz. / Cu.In. a g/cm³, moltiplicare per 1,9

Non date per scontato che aggiungendo zinco si riduca la densità e di conseguenza i costi. L'effetto dello zinco sulla densità apparente delle leghe d'oro può essere complicato. Infatti sembra che piccole aggiunte di zinco facciano aumentare la densità. La tabella 2 mostra due leghe d'oro che aumentano rapidamente di densità con piccole aggiunte di zinco e poi si stabilizzano¹⁴. Sappiamo che l'oro è più denso dello zinco, perciò come può essere? La risposta a questo indovinello sta nell'effetto dello zinco sulla riduzione dei microvuoti interdendritici causati dalla contrazione di volume alla solidificazione. In altre parole, un poco di zinco riduce la porosità dei getti a sufficienza per farne aumentare la densità.

Tabella 2

LEGA 14K	PESO DELLO ZINCO %	DENSITÀ
1	-	13,2
2	0,44	13,8
3	1,10	13,8
4	1,80	13,7
LEGA 18K	PESO DELLO ZINCO %	DENSITÀ
1	0	15,0
2	0,52	15,4
3	1,10	15,3
4	1,80	15,3

Effetto dello zinco sulla densità

L'effetto dello zinco sulla temperatura di fusione dell'oro giallo era già ben noto nell'antichità. Le leghe riportate in tab. 3 mostrano che in leghe a 14 K e 18 K, quando si sostituisce lo zinco all'argento, la temperatura di fusione si abbassa. Anche l'intervallo di fusione aumenta, rendendo la lega meno sensibile al sistema di alimentazione. Temperature di fusione più basse contribuiscono ad abbassare il sistema di temperatura richiesto, cosa che contribuisce a ridurre la porosità da gas. Una temperatura di fusione più bassa riduce il consumo di energia per la fusione ed abbrevia il tempo di ciclo per il colaggio.

Tabella 3

ORO	ARGENTO	RAME	ZINCO	Temp. SOLIDUS	Temp. LIQUIDUS	INTERV. FUSIONE
% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	°C	°C	°C
58,5	30	11,5	0	860	880	20
58,5	29,5	11,5	0,5	805	860	55
58,5	28,9	11,5	1,1	810	840	30
58,5	28,1	11,5	1,9	790	820	30
75	16	9	0	890	910	20
75	15,5	9	0,5	870	900	30
75	14,9	9	1,1	850	880	30

Effetto dello zinco sulla tensione superficiale

Lo zinco abbassa la tensione interfaciale delle leghe d'oro. Secondo Ott e Raub, aggiunte di 1-2% di zinco in leghe a 14 e 18 K migliorano grandemente la rugosità superficiale dei getti. Il 2% di zinco è sufficiente ad ottenere completo umettamento del refrattario, migliorando la riproduzione dei dettagli. Con l'1,5% di zinco l'umettamento è stato parziale e con meno di 1,5% non si è avuto umettamento. Il grafico di fig. 1 mostra il notevole miglioramento della qualità delle superfici ottenuto aggiungendo alla lega solo 1% di zinco.

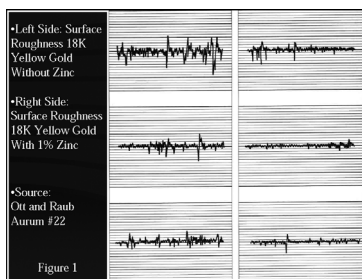


Figura 1 - A sinistra: rugosità superficiale di un oro giallo a 18 K senza zinco.

A destra: rugosità superficiale di un oro giallo a 18 K con 1% di zinco.

Da: Ott & Raub, Aurum n° 22

Effetto dello zinco sulla fluidità

Una lega a 14 K con il 2% di zinco ha una capacità di riempimento della forma più che doppia della stessa lega senza zinco, come si può vedere dalla differenza tra due griglie colate (fig. 2).

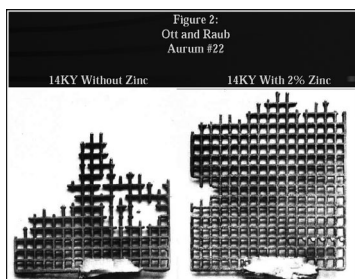


Figura 2 - Da Ott & Raub, Aurum n° 22. Riempimento dello stampo.

A sinistra: oro giallo a 14 K senza zinco - A destra: oro giallo a 14 K con 2% di zinco

Effetto dello zinco sulla porosità

Abbiamo visto prima che con piccole aggiunte di zinco la densità è leggermente aumentata, poiché vi erano meno microvuoti tra i grani. Tensione superficiale più bassa, fluidità più alta e intervallo di fusione più ampio cooperano per aiutare il fonditore a ridurre la porosità da ritiro. Ott e Raub hanno riferito che, se si usano

alimentatori adeguati, l'aggiunta di zinco fa diminuire la porosità.

Effetto dello zinco sulla resistenza meccanica e sulla durezza

Piccole aggiunte di zinco possono migliorare la resistenza a trazione ed aumentare la durezza dei pezzi grezzi di colata. Ciò avviene perché, riducendo la porosità ed i microvuoti ai bordi di grano, il metallo diventa più compatto ed il metallo più compatto è più resistente, prende una finitura migliore e resiste meglio alla macchiatura di leghe con la stessa composizione, ma meno compatte.

Possiamo vedere che l'aggiunta di zinco alle leghe d'oro porta molti vantaggi, ma lo zinco porta anche un importante svantaggio, che è la perdita alla fusione, che porta allo slittamento della caratura.

Come fare a sapere quel che si è perso

Quando osserviamo una perdita alla fusione, sappiamo che cosa manca e che si sta verificando uno slittamento della caratura? Il modo più semplice per misurare lo slittamento della caratura è sottoporre al saggio la lega d'oro prima e dopo il colaggio. Se la percentuale di oro è aumentata, si ha slittamento della caratura, ma la prova al fuoco non dirà cosa è venuto a mancare. Si potrebbe eseguire un'analisi completa della lega o si può cercar di trovare quel che si è perso. Dal momento che gli elementi non possono essere distrutti, dobbiamo essere capaci di trovare da qualche parte ciò che manca dal metallo colato. Se avete eseguito la fusione in un sistema chiuso, non dovrete cercare molto lontano. I vapori si alzano dal crogiolo e si condensano come polvere fine sul coperchio della camera del crogiolo. Abbiamo anche trovato e analizzato un poco di polvere sul fondo della camera del crogiolo, subito sopra la camera del cilindro. Questi campioni di polvere sono stati analizzati con il metodo a raggi X a dispersione di energia (EDX) per vedere cosa contenevano. Dalla tab. 4 si può vedere che sono stati trovati dieci elementi in quantità misurabili e che vi è una differenza tra la polvere trovata sopra il crogiolo e quella trovata sopra il cilindro.

Tabella 4

Analisi EDX della polvere		
Elemento	Dal coperchio % in peso media	Camera del crogiolo % in peso media
Zinco	91,47	64,18
Silicio	1,45	17,11
Zolfo	0,76	0,84
Cloro	3,37	0,52
Argento	0,53	1,54
Potassio	0,73	0,2
Calcio	0,29	1,2
Nichel	0,27	1,3
Rame	1,11	10,82
Oro	0	2,17

È da notare che nella polvere del coperchio non è stato trovato oro. Ciò significa che non è evaporato oro e perciò per questa via non ne è stato perso, ma indica pure che la lega può essere diventata più ricca in oro. Chiaramente lo zinco è il componente principale di entrambi i campioni di polvere. L'analisi EDX, insieme al saggio dell'oro prima e dopo il colaggio, ha dimostrato che si è avuto slittamento della caratura e che la perdita di zinco è stata il principale responsabile. L'analisi EDX merita una discussione più approfondita e dovrebbe essere oggetto di ulteriori studi.

Finora abbiamo parlato di leghe a 14 K e 18 K contenenti il 2% in peso di zinco o meno. Molte leghe d'oro hanno un contenuto di zinco che va dal 4% al 16%. Anche la diffusione crescente degli ori bianchi sta spostando l'attenzione verso leghe con contenuto maggiore di zinco. Quando i parametri del processo non sono controllati con cura, non è raro osservare perdite alla fusione dell'1% o più alte. Ma le si può controllare anche a livelli più bassi.

Per calcolare il costo dello slittamento della caratura, comincerò con l'esempio di una perdita di 0,6 grammi su 1000 per una lega d'oro a 14 K.

Il peso iniziale del metallo da colare è 1000 grammi ed il peso dopo il colaggio è 999,4 grammi. Dopo aver fatto i conti, vediamo che, con un costo dell'oro di \$ 380,00 per oncia troy, il costo dell'arricchimento in oro è di \$ 4,27 per ogni kg colato (fig. 3).

$\text{Peso dopo colaggio (g) / Peso prima del colaggio (g) X 100 = \% \text{ Rimanente}$ $999,4 / 1000 \text{ X } 100 = 99,94$
$\% \text{ Oro fino iniziale} / \% \text{ Rimanente X } 100 = \% \text{ Oro fino finale}$ $\% \text{ Oro fino finale} - \% \text{ Oro fino iniziale} = \text{Fattore di slittamento della caratura X } 100$ $58,5 / 99,94 \text{ X } 100 = 58,535$ $58,535 - 58,5 = 0,035$
$\text{Fattore di slittamento della caratura} = 0,035 / 100 = 0,00035$
$\text{Fattore di slittamento della caratura X Valore dell'oro fino al g} = \text{Costo dello slittamento della caratura per g.}$ $0,00035 \text{ X } \$12,21^* = \$ 0,004274$
$\text{Costo dello slittamento della caratura per g X } 1000 = \text{Costo dello slittamento della caratura per kg colato.}$ $\$ 0,004274 \text{ X } 1000 = \$4,27$
<p>*Prezzo dell' oro \$ 380,00 per oncia troy 1 oncia troy = 31,1 g</p>

Figura 3 - Calcolo del costo dello slittamento della caratura per una lega a 14 K

Un'azienda che aveva tenuto registrazioni precise ha reso possibile eseguire uno studio pratico "prima e dopo" sui risparmi correlati ad un miglioramento delle attrezzature.

I numeri mostrano che per un'azienda di medie dimensioni si possono ottenere risparmi significativi. Mi sono sforzato di presentare le informazioni in modo tale che ognuno possa applicarle alle proprie esperienze, estrapolando i numeri per

produzioni minori o maggiori.

Alcuni fattori critici per ridurre i costi sono: buona omogeneità della lega, atmosfera protettiva eccellente, capacità di colare alberelli grossi con cicli di fusione brevi, controllo preciso del processo fusorio e possibilità di preparare la lega e trasformare i canali di colata in graniglia per colaggio senza inquinare il metallo.

Un cambiamento importante nella lavorazione è stato la trasformazione dei canali di colata in graniglia per colaggio prima di riciclarli nei crogioli per il colaggio. La perdita alla fusione per la trasformazione dei canali di colata in graniglia per colaggio è costantemente inferiore allo 0,01%. Il costo di manodopera per questa trasformazione è compensato dalla diminuzione del costo della manodopera per il colaggio. Con apparecchiature adatte, la trasformazione dei canali di colata in graniglia richiede meno tempo che tagliarli e la perdita alla fusione è ridotta, anche se il metallo è fuso due volte.

Nella tabella 5 è mostrato il costo di manodopera per cilindro, in funzione del numero di cilindri colati per ora. Passando da 6 a 20 cilindri per ora, si risparmia il 70% del tempo richiesto per il colaggio. Qualunque sia il costo della manodopera, considerate che risparmiare il 70% è molto importante. Colando 20 cilindri al giorno, con un costo della manodopera di \$15,00 all'ora per 250 giorni di colaggio per anno, potrete risparmiare oltre \$ 8700,00 per anno. La riduzione dei tempi di lavorazione porta anche il vantaggio di far arrivare i getti in finitura prima nella giornata ed una macchina veloce può fare il lavoro di due macchine più lente, riducendo i costi di capitale.

Tabella 5

Colate per ora	Costo della manodopera per cilindro a \$15.00 per ora	Tempo cumulativo risparmiato in percento
6	\$ 2,50	0
8	\$ 1,88	25%
10	\$ 1,50	40%
12	\$ 1,25	50%
14	\$ 1,07	57%
16	\$ 0,94	62%
18	\$ 0,83	67%
20	\$ 0,75	70%
22	\$ 0,68	73%
24	\$ 0,63	75%

La tab. 6 mostra l'effetto delle dimensioni del cilindro sul costo del refrattario e sulla quantità di oro necessaria per la produzione giornaliera. Supponiamo di colare sempre lo stesso pezzo e che siano attaccati 10 pezzi per pollice (1 pollice = 2,54 cm) di altezza utile dell'alimentatore centrale. Al di sopra delle cere sono necessari 12 mm di refrattario e 37 mm sotto di esse. Un anno corrisponde a 250 giorni

lavorativi. Un cilindro alto 300 mm darà la stessa produzione di 2,5 cilindri alti 150 mm e consuma circa il 20% di refrattario in meno. Dal momento che si cola meno della metà dei cilindri di prima e che la nuova apparecchiatura è più veloce di quella vecchia, la manodopera per il colaggio è solo il 30% di quello che era. Il cambiamento più importante è la riduzione del quantitativo di metallo necessario per fare la produzione di un giorno. I cilindri da 6 pollici (15 cm) richiedevano 300 g di metallo con una resa di 150 g. I cilindri da 12 pollici (30 cm) hanno una resa di 375 g partendo da 600 g di metallo colato. Ciò corrisponde ad un aumento della resa del 12,5% e ad una riduzione del 20% del metallo in lavorazione. Poiché si fonde il 20% in meno di metallo si riduce la perdita alla fusione e si ha il 20% in meno di slittamento della caratura.

Tabella 6

Pezzi colati al giorno	Dimensioni del cilindro (cm)	Pezzi per alberello (10 pezzi ogni 25 mm)	Numero di alberelli	Refrattario per cilindro	Costo del refrattario per anno (\$1.32 kg)	Quantità di metallo richiesta al giorno (grammi)
1200	10x15	40	30	630 g	\$ 6237,00	9000
1200	10x30	100	12	1260 g	\$ 4989,00	7200
				Risparmio	\$1248,00 19,8% in meno	1800 g 20% in meno

Nella tabella 7 la perdita alla fusione è stata ricavata dalle registrazioni dell'anno precedente il cambiamento di processo ed è stata adattata ai prezzi correnti dell'oro. Si vede che è stata persa una significativa quantità di denaro a causa dello slittamento della caratura. L'alto contenuto di zinco, le piccole dimensioni delle colate, il ciclo di fusione lungo, la mancanza di controllo dell'atmosfera ed il surriscaldamento del metallo hanno contribuito alla perdita per fusione. La perdita di 4,9 g per 1000 g fusi rappresenta solo lo 0,49%. È stupefacente quanto può costare questo piccolo quantitativo.

Tabella 7 - Costo dello slittamento della caratura prima del miglioramento

Lega	Totale colato (kg)	Perdita alla fusione (g per kg)	Fattore di slittamento della caratura	Costo dell'oro: \$ per grammo	Costo dello slittamento della caratura per kg
1 Y	1518	4,9	0,00288	12,21	\$ 35,16
1 W	746	6,1	0,00359	12,21	\$ 43,83

Nell'anno seguente il miglioramento del processo, grazie a procedure di attento controllo del metallo, il quadro è stato molto differente. Nella tab. 8 vediamo che, se si considera l'alto contenuto di zinco della lega e che il metallo era riciclato più volte,

lo slittamento della caratura è molto basso.

Tabella 8 - Costo dello slittamento della caratura nell'anno successivo al miglioramento

Lega	Totale colato (kg)	Perdita alla fusione (g per kg)	Fattore di slittamento della caratura	Costo dell'oro: \$ per grammo	Costo dello slittamento della caratura per kg
2 Y	1780	0,2	0,000117	12,21	\$ 1,43
2 W	1203	0,6	0,000351	12,21	\$ 4,29

La miscela di graniglia fresca e graniglia riciclata dipenderà dalla lega usata. È importante controllare regolarmente il contenuto di oro e tenere rapporti di miscelazione molto precisi.

Mi sono stati riferiti risultati analoghi colando un oro giallo da 10 K, contenente circa il 6% di zinco ed usando 60% di graniglia fresca e 40% di graniglia riciclata. In entrambi i casi la variazione del contenuto di oro si era stabilizzata intorno allo 0,02% con una variazione massima di $\pm 0,03\%$.

Lo stretto controllo del contenuto di oro ha reso possibile ridurre dello 0,04% il contenuto di oro della lega fresca, pur mantenendo la caratura richiesta. L'analisi statistica dimostra che con un'apparecchiatura di fusione moderna, con una gestione intelligente del processo e se si mantiene con precisione il rapporto tra graniglia fresca e graniglia riciclata, la variazione del contenuto di oro può essere mantenuta entro lo 0,02%. Al contrario, le vecchie pratiche operative causavano perdite alla fusione molto più alte. Anche se un forte miglioramento delle attrezzature aziendali può essere alquanto costoso, il ritorno dell'investimento può essere ragionevole anche per una produzione relativamente modesta.

Questa azienda usava in media 9 kg di oro per giorno lavorativo. A questo ritmo, se si calcola la differenza tra il vecchio sistema e quello nuovo, nei primi sette mesi il risparmio cumulativo sarebbe stato di oltre \$ 80.000,00 rispetto all'anno precedente. È stupefacente quale opportunità di profitto esista da un numero apparentemente così piccolo come 0,49% di slittamento della caratura causato dalla perdita alla fusione.

Conclusioni

Il controllo delle perdite alla fusione richiede un accurato controllo del metallo in tutte le fasi del processo di fabbricazione. Lo zinco è di gran lunga la causa principale della perdita alla fusione e l'evaporazione dello zinco non può essere eliminata completamente. Il costo reale delle perdite alla fusione è lo slittamento della caratura. Però questo studio dimostra che è possibile controllarlo e renderlo un

costo di fabbricazione modesto e che gli investimenti necessari per gestire in modo opportuno lo slittamento della caratura dovuto alle perdite alla fusione possono essere compensati da un buon ritorno con la crescita dei profitti.

Qui di seguito sono riportati i fattori critici per gestire lo slittamento della caratura causato dalla perdita alla fusione e per ridurre i costi.

Questo studio ha dimostrato che il costo della manodopera per il colaggio è correlato con la durata del ciclo di fusione ed un ciclo più breve può portare a risparmi significativi. La durata del ciclo è misurata da un cilindro a quello successivo. Un ciclo di colaggio di 2,5-3 minuti permette di ridurre la perdita alla fusione, se il controllo della temperatura del metallo e del crogiolo è perfetto. Se si prova ad abbreviare il ciclo di colaggio con i sistemi tradizionali di controllo della temperatura, è difficile evitare un surriscaldamento del metallo all'interfaccia con il crogiolo. D'altro lato, se si allunga il ciclo per avere un miglior controllo della temperatura, il fattore tempo fa aumentare la perdita alla fusione. Allo stesso modo di una pentola d'acqua che bolle sulla stufa, più a lungo lo zinco bolle nel crogiolo, più evapora. L'ideale è un perfetto controllo della temperatura con un tempo di fusione molto breve.

Questo studio ha anche dimostrato che si possono ottenere ulteriori risparmi aumentando il volume del metallo fuso.

Di solito, quanto più metallo si fonde, tanto minore sarà la perdita alla fusione. I bagni fusi piccoli hanno uno sfavorevole rapporto superficie/volume, che facilita l'evaporazione dello zinco.

Colare alberelli più grandi è meglio che colare alberelli più piccoli, poiché quelli più grandi richiedono bagni fusi più grandi e fanno risparmiare denaro sotto ogni aspetto.

Graniglia piccola, di dimensioni uniformi, fonde più velocemente ed in modo più ripetibile da lotto a lotto, trasferisce il calore del crogiolo più rapidamente e si scalda in modo più uniforme che grossi pezzi. È chiaro che il metallo riciclato deve essere trasformato in graniglia. Quando tutto il metallo usato è sotto forma di graniglia o di gocce, si ha sempre un miglioramento della qualità dei getti.

Il controllo dell'atmosfera è molto importante. Lo zinco si combina facilmente con l'ossigeno, cosa favorevole in quanto evita che il rame formi ossido di rame. Tuttavia, fondendo in presenza di ossigeno, si facilita una rapida perdita dello zinco, che causa slittamento della caratura. Fondendo in un'atmosfera priva di ossigeno, si ha migliore qualità e meno perdita alla fusione.

Infine la pressione nella camera di fusione è uno dei fattori più importanti per prevenire la perdita alla fusione.

Quanto più bassa è la pressione, tanto più alta è la velocità di evaporazione dello zinco. Fino a quando l'atmosfera è esente da ossigeno, è meglio avere una pressione superiore a quella atmosferica, piuttosto che il vuoto o un vuoto parziale.

Bibliografia

1. R. Carrano; The Effects of Common Additives on the Cast Properties of 14 Karat Alloys; p11, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology; 1988
2. D. Neff; Nonferrous Molten Metal Processes; p449, ASM Handbook, Volume 15, Casting; ASM International 1998
3. G. Normandeu; Ottimizzazione delle aggiunte di silicio nelle leghe a base oro per getti; p.4, Gold Technology, n° 15; aprile 1995
4. A. Eccles; The Evolution of an Alloy; p.203, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology; 1998
5. H. Lichtenberger; Grain Refining and its Impact on Standard Test Patterns and Cast Rings; p.178, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1995 e conversazione privata con lui
6. G. Normandeu; The Effect of Various Additives on the Performance of an 18 Karat Yellow Gold Investment Casting Alloy; p.83, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1996
7. D. Ott; corrispondenza privata
8. S. Grice; The Effect of Quench Temperature on Silicon Containing Low Carat Investment Casting Alloys; p.205; Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1999
9. D. Schneller; The Recovery of Precious Metals from Used Casting Investment: p.283, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1987
10. A. Butts; The Physical properties of Silver; Silver Economics, Metallurgy, and Use; p.107; D. Van Nostrand Co, Inc. 1967
11. L.GalOr, Gold Alloys; p.57, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1987
12. D.P Agarwal, Color Technology for Jewelry Alloy Applications, p.229, Atti del Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1988
13. The Handy Book of Precious Metals pubblicato da Handy and Harman. NY, NY
14. C. Raub, Gold Casting Alloys, The Effect of Zinc Additions on Their Behaviour, p.48, Aurum 22, 1985

