

Analisi e classificazione dei difetti e dei problemi più comuni nei processi di produzione di leghe auree

1. Introduzione

1.1 Gran parte della storia dell'essere umano, con la nascita delle civiltà, può essere descritta anche attraverso il progresso dei processi produttivi, diventati via via sempre più complessi. A questo hanno sicuramente contribuito la scoperta, poi la ricerca e la messa a punto di tecniche di sfruttamento di nuove risorse. In altri termini la storia dell'essere umano può essere scritta anche come la storia dello sfruttamento delle risorse minerarie e in particolare dei metalli. Le caratteristiche di lucentezza, facilità di lavorazione, inossidabilità e inalterabilità, hanno permesso all'Oro di ritagliarsi un ruolo speciale nella storia rispetto agli altri metalli presenti in natura.

Negli anni, il suo impiego si è esteso in diversi ambiti: ad esempio in campo monetario è considerato tuttora un bene di riserva; in campo tecnologico, grazie alla sua buona capacità di condurre elettricità e alla sua inossidabilità è molto usato in elettronica; infine, è impiegato anche in campo medico grazie alla sua inerzia chimica e ai bassi rischi per la salute umana.

Ma il settore in cui l'Oro ha da sempre un ruolo predominante è quello della produzione di oggetti preziosi. Sin dal 5000 a.C. infatti, la capacità di mantenersi splendente senza mai perdere la sua lucentezza, le particolari caratteristiche di malleabilità e le apprezzate tonalità cromatiche, hanno reso l'Oro il materiale nobile principalmente utilizzato nella produzione di gioielleria.

L'intento principale nel mondo orafo, è da sempre quello di raggiungere la perfezione estetica, producendo oggetti che siano un connubio tra bellezza e qualità. Come accade in tutti i processi produttivi però, anche nella produzione delle leghe auree si può avere la comparsa di difetti che portano allo scarto del prodotto o all'insoddisfazione del consumatore. Mai come in questo campo quindi, è importante conoscere ed evitare i difetti.

La procedura corretta quando compare un problema, è quella di analizzarlo al fine di prendere provvedimenti per eliminarne le cause e prevenirne la ricomparsa. Questo è possibile solo se il difetto è ben identificato e le sue cause sono riconosciute. Con questo lavoro si cerca di raccogliere in un unico manuale tutte le nozioni riguardanti le tipologie di difetti che possono presentarsi nella produzione di gioielleria.

2. Difetti dovuti al ritiro

2.1 Cenni di teoria

Per affrontare al meglio l'argomento del ritiro è forse opportuno accennare più in generale alle dinamiche relative all'intero processo di solidificazione. In questo modo si riesce a comprendere meglio tutto quello che avviene in questa fase estremamente delicata di trasformazione della materia.

La solidificazione comprende un passaggio di fase dal liquido al solido. È necessario pertanto partire considerando la materia liquida.

Attualmente non si ha la completa conoscenza della struttura dello stato liquido, ma si possono fare delle ipotesi. Possiamo considerare lo stato liquido come qualcosa di intermedio fra lo stato gassoso (dove gli atomi occupano posizioni del tutto caotiche e casuali) e lo stato solido cristallino (dove gli atomi occupano ben determinate posizioni secondo delle regole precise). Indagini dirette hanno dimostrato che la diversità sostanziale fra un metallo solido e il suo liquido è data dal differente grado di ordine nella loro distribuzione atomica. Possiamo affermare che lo stato liquido è caratterizzato da una situazione di ordine a corto raggio, nel senso che ogni atomo è circondato da altri atomi con i quali forma preragruppamenti atomici; le posizioni di tali atomi sono simmetriche ed equidistanti ma non vincolate da nessun'altra coordinazione geometrica di ordine superiore. Nel metallo solido, invece, tale coordinazione si estende simmetricamente e indefinitamente in ogni direzione dello spazio occupato dal cristallo (ordine a lungo raggio).

Le rispettive proprietà del metallo allo stato solido e allo stato liquido risentono del diverso grado di ordine degli atomi costituenti.

In un metallo liquido (come in uno solido) l'aumento della temperatura implica una proporzionale crescita dell'ampiezza e della frequenza di vibrazione dei singoli atomi, i quali pertanto tendono ad occupare un maggiore spazio: ne deriva una diminuzione di densità ed una crescita della diffusione, che è assai superiore a quella dello stato solido.

Anche le viscosità dei vari metalli (legate al coefficiente di diffusione) non sono molto diverse fra loro, mentre la loro tensione superficiale allo stato fuso è circa 10 volte quella dei liquidi comuni come l'acqua.

Una proprietà molto importante per la colata dei metalli risulta essere la uidità (o colabilità), misurata generalmente dalla profondità di penetrazione del metallo liquido in una forma standard. Tale proprietà è di interpretazione molto complessa, dato il grande numero di variabili che la in uenzano; in generale si può dire che essa dipende in senso diretto dalla temperatura ed in senso inverso dalla viscosità, dalla tensione superficiale, dall'aggiunta di alcuni elementi leganti e dalla presenza di eventuali eterogeneità (quali ad esempio film di ossidi, gas, ecc.). In generale la uidità è massima in caso di metalli puri e leghe eutettiche.

L'inizio della transizione liquido – solido avviene con il manifestarsi della nucleazione di piccoli germi di materiale solido.

L'aumento dell'ordine strutturale nel cambiamento di fase liquido-solido provoca in ogni metallo una brusca variazione di quasi tutte le proprietà, anche quelle non dipendenti dalla struttura cristallina; infatti numerose proprietà dipendono dall'aggregazione metallica policristallina, a sua volta legata al processo di solidificazione.

Tra le proprietà che cambiano, vi è anche una variazione di volume alla transizione solido – liquido. Nella maggior parte dei casi avviene una diminuzione di volume passando dalla fase liquida a quella solida. Fanno eccezione a questa regola solo pochi elementi quali, ad esempio, il gallio, il bismuto e l'antimonio.

Nel caso di un metallo puro, ad esempio l'oro, il passaggio solido liquido avviene ad una temperatura ben precisa, definita temperatura di solidificazione. In questo caso la contrazione di volume (pari al 5.1% per l'oro puro), avviene in maniera pressoché istantanea in tutta la parte di liquido che ha raggiunto la temperatura adatta.

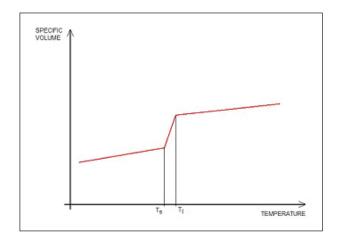


Figura 1 - Variazione volumetrica nel passaggio solido - liquido

In realtà questa diminuzione di volume consta di 3 contributi: quello durante il raffreddamento del liquido, quello di solidificazione e quello durante il raffreddamento della lega già solidificata. Naturalmente (come risulta evidente anche in figura 1) molto vistoso risulta essere il ritiro di solidificazione in quanto si ha il passaggio da un ordine a corto raggio ad un ordine a lungo raggio, dove le forze di attrazione interatomica che agiscono su un solido metallico sono assai maggiori di quelle esistenti nello stesso metallo liquido: pertanto durante la solidificazione le distanze interatomiche diminuiscono notevolmente.

La solidificazione di un metallo (detta anche cristallizzazione primaria) avviene per stabilizzazione nel tempo degli aggregati primari atomici già citati, con formazione di germi cristallini stabili e accrescimento di questi ultimi. Bisogna distinguere tra germi omogenei e germi eterogenei. I primi sono da considerare come un iniziale addensamento reticolare di un certo numero di preraggrupamenti atomici secondo la simmetria del cristallo. Per contro i secondi sono composti, del tutto o parzialmente, da atomi appartenenti a uno o più elementi diversi: ad esempio piccole particelle estranee al metallo (germi esogeni) in sospensione nel liquido oppure germi derivanti dalla precipitazione primaria di un'altra fase (germi endogeni), come nelle leghe o metalli puri.

La cristallizzazione di un metallo e la struttura policristallina che ne risulta sono governate dalla velocità di nucleazione e dalla velocità di accrescimento dei germi cristallini. Per velocità di nucleazione si intende il numero di germi che si formano per unità di volume e di tempo, mentre per velocità di accrescimento si intende la velocità di crescita di tali germi. A differenza di un metallo puro, una lega non presenta una temperatura di solidificazione ben precisa bensì un intervallo. Questo intervallo è stretto dalle temperature di solidus e di liquidus definite dal diagramma di fase della lega. Questi due valori corrispondono alle temperature in cui la lega inizia e finisce di

solidificare. Dal punto di vista teorico la solidificazione potrebbe avvenire appena sotto la temperatura di liquidus. In realtà per fare avvenire in un tempo accettabile la solidificazione è necessario fornire una forza motrice al processo.

La forza motrice che fa avvenire la solidificazione è data dal sottoraffreddamento. Si definisce grado di sottoraffreddamento, di un metallo liquido, la differenza fra la temperatura di equilibrio solido-liquido e quella a cui inizia effettivamente la solidificazione del liquido; questa grandezza non è costante ma dipende soprattutto dal grado di purezza del metallo e dalla velocità di asportazione del calore dal bagno liquido.

In figura 2 sono rappresentate le 3 curve possibili di raffreddamento, temperatura-tempo, di uno stesso metallo soggetto a gradi di sottoraffreddamento diversi.

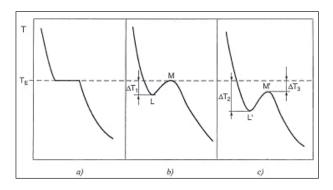


Figura 2 - Curve di raffreddamento

Caso a) E' il caso ideale di solidificazione di un metallo in condizioni di reversibilità; tale situazione si verifica in presenza di molti nuclei eterogenei.

Caso b) In questa situazione la solidificazione inizia in L con un sottoreffreddamento ΔT1 che si sviluppa con velocità tale che la T media della massa aumenta per lo sviluppo del calore di fusione, fino a raggiungere in M il valore di equilibrio TE; nella pratica ciò si verifica in presenza di nuclei eterogenei poco efficaci.

Caso c) Questa curva si riferisce alla formazione di nuclei omogenei: occorre pertanto un sottoraffreddamento iniziale $\Delta T2$ più elevato di quello del caso precedente, che alla fine (punto M') è ancora diverso da zero.

La trasformazione di un metallo dallo stato liquido a quello solido avviene con una diminuzione dell'energia del sistema. Si tratta di una trasformazione spontanea in quanto permette al sistema di assumere uno stato energetico a più bassa energia.

Dalla figura 3 si nota che solo per temperature T inferiori a quella di equilibrio TE (solidificazione) il metallo solido è stabile, in quanto possiede un'energia libera inferiore; al contrario nel caso in cui T risulta essere maggiore di TE risulta essere stabile il metallo liquido.

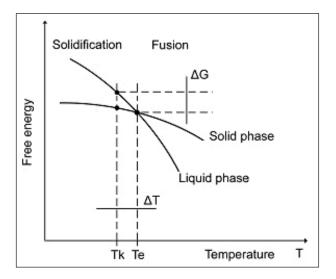


Figura 3 - Energia libera

In realtà quando si è vicini alla temperatura di equilibrio TE (solidificazione) si avrà una continua formazione e distruzione (ridiscioglimento nel fuso) di questi nuclei di atomi. Il sottoraffreddamento è la forza motrice del sistema in quanto maggiore sarà il sottoraffreddamento maggiore sarà la stabilità di formazione dei nuclei e maggiori saranno anche le probabilità che questi nuclei subiscano un accrescimento (e non un ridiscioglimento) fino a portare alla formazione del metallo solido. Siccome ciascun nucleo (dopo accrescimento) dà luogo ad un grano cristallino, a solidificazione completata il numero di questi ultimi è uguale al numero dei nuclei formatesi. Poiché a temperatura ambiente la resistenza meccanica dei materiali metallici è inversamente proporzionale alle dimensioni dei cristalli, si giustifica l'importanza assunta dal grado di sottoraffreddamento durante la solidificazione. In generale, per la maggior parte dei metalli, la solidificazione avviene per sottoraffreddamenti di alcune decine di gradi, quindi per nucleazione eterogenea. Diversamente la nucleazione omogenea (cioè formazione di nuclei dall'aggregazione di atomi costituenti il metallo) richiede sottoraffreddamenti sull'ordine dei 100°C. In pratica però, si utilizzano anche altri accorgimenti per ottenere materiali metallici a grana fine. A tal proposito vengono inserite ad arte delle impurezze (nel caso dell'oro le più comuni sono Ir, Ru, Re) poco solubili nella fase liquida che durante la fase di solidificazione fungono da agenti nucleanti favorendo la formazione di nuclei stabili (processo di inoculazione) che si accrescono fino a portare tutto il materiale in fase solida. Il risultato di questo processo è l'ottenimento di numerosi piccoli grani cristallini e dunque un miglioramento delle caratteristiche meccaniche, senza alterazione della composizione. Si riesce così a ridurre le

dimensioni del grano (affinamento).

Andando ad analizzare la solidificazione più nel dettaglio possiamo affermare che nel caso del metallo puro, in prima analisi, segue l'andamento del gradiente termico, mentre nel caso invece di una lega entrano in gioco anche altri fattori come ad esempio il cosiddetto sottoraffreddamento costituzionale.

Durante la solidificazione di una lega, il materiale che cristallizza non ha mai la stessa composizione, questo a causa della natura stessa delle leghe. Tale considerazione deriva dall'analisi del diagramma di fase di una lega (figura 4).

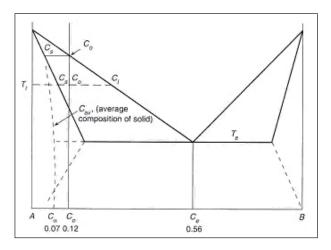


Figura 4 - Diagramma di fase

Come conseguenza si ha che ci sono zone del materiale con una differente composizione puntuale e quindi con una differente temperatura di solidificazione.

Il sottoraffreddamento reale non è perciò dato dalla differenza della temperatura di liquidus della lega nel suo insieme e la temperatura del sistema, ma entra in gioco la temperatura di liquidus della composizione puntuale. Questo concetto è esemplificato nel grafico seguente.

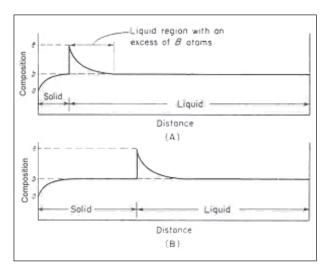


Figura 5 - Gradiente di solidificazione

Nell'esempio, in particolare, ci si riferisce ad un caso in cui si ipotizza di studiare la solidificazione di una barra in maniera unidirezionale. A causa della differente concentrazione puntuale la temperatura di liquidus non potrà essere costante in tutto il fuso. Si avrà dunque una solidificazione solo nelle zone con valori di composizione particolari, ovvero dove la temperatura del uido sarà inferiore alla temperatura di liquidus. Questo fenomeno è detto sottoraffreddamento costituzionale.

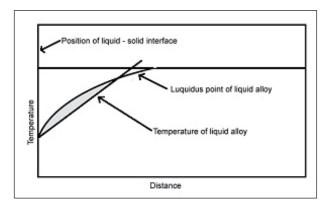


Figura 6 - Sottoraffreddamento costituzionale

La solidificazione, dunque, e di conseguenza anche il ritiro seguono l'andamento del sottoraffreddamento, sia esso termico o costituzionale. Man mano che il materiale passa di fase, esso si contrarrà. La diminuzione di volume potrà essere continuamente compensata dall'af usso di nuovo materiale uido adiacente al fronte di solidificazione.

Il sottoraffreddamento costituzionale può però portare a delle problematiche impreviste. In primo luogo, esso può variare la forma di accrescimento dei grani cristallini. In questo caso, vista la natura degli oggetti prettamente estetica, non si hanno difettologie o problematiche particolari relative a questo aspetto. Nel caso in cui invece si abbia un'imprevista solidificazione in zone delicate, questa potrebbe fungere da ostacolo al continuo af usso di materiale liquido nelle zone in via di solidificazione portando perciò ad un ritiro fisiologico del materiale senza che questo possa essere compensato da ulteriore apporto di metallo fuso. È in questa situazione che il ritiro diventa effettivamente visibile nell'oggetto.

Il fenomeno del ritiro si può presentare con due casi tipici:

- cono da ritiro
- porosità da ritiro

Il cono da ritiro non è altro che la manifestazione più evidente e macroscopica del fenomeno da ritiro. Il materiale assume una forma a cono rovesciato. In questa zona si può assumere che venga a sommarsi quasi tutto il ritiro del materiale

nel suo complesso. Questo fenomeno è evidente ad esempio nella colata in staffa (figura 7).

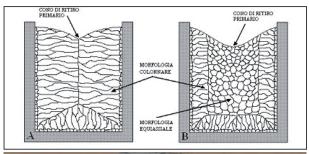




Figura 7 - Cono da ritiro

La porosità da ritiro, invece, è il manifestarsi del fenomeno a livello microscopico.

I metalli, una volta raggiunta la temperatura di solidificazione, iniziano a formare dei nuclei di materiale solido. Questi nuclei cresceranno seguendo una struttura dendritica (parola greca che significa albero in quanto ricorda un'immagine arborea, vedi figura 8).

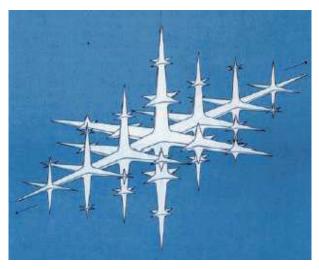
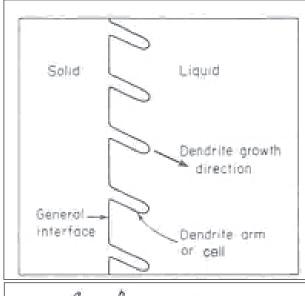


Figura 8 - Dendrite



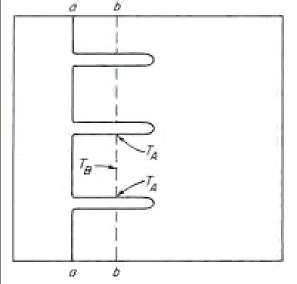


Figura 9 - Crescita dendritica

L'accrescimento dendritico segue una morfologia caratteristica. Infatti, per neutralizzare l'innalzamento di temperatura il sistema tende ad opporsi favorendo al massimo lo smaltimento superficiale di calore per unità di volume di solido e, di conseguenza, diminuendo l'energia del sistema. Pertanto i rami di una dendrite tenderanno a crescere seguendo i gradienti di temperatura e di concentrazione. Saranno sempre dei fattori termodinamici quelli responsabili della ramificazione e dello sviluppo di bracci secondari della dendrite. In ogni caso l'accrescimento si bloccherà solo quando un ramo di materiale solido incontrerà un ostacolo, verosimilmente la parete dello stampo o un'altra parte di dendrite. Infatti, tutti i materiali metallici sono policristallini, cioè sono composti da un gran numero di cristalli individuali (chiamati grani) aventi dimensioni lineari di 10-200µm e più. Tale struttura policristallina si forma secondo il seguente meccanismo: una volta formatesi dei germi stabili nel liquido questi tenderanno ad accrescere. Il loro accrescimento si-

multaneo, di tipo dendritico, segue direzioni cristalline diverse fra loro (salvo casi fortuiti). A mano a mano che i grani vicini crescono, diminuisce sempre più la reciproca distanza finché essi si toccano secondo superfici di separazione molto irregolari (giunti del grano); tali grani pertanto si compenetrano perfettamente, realizzando un aggregato del tutto denso e continuo, anche se ciascuno conserva la propria identità cristallografica. Risulta chiaro pertanto che la dimensione finale dei grani dipende fortemente dal numero di nuclei (germi) formatesi nel liquido.

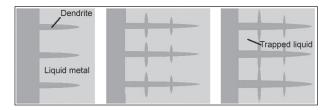


Figura 10 - Chiusura dei canali

Vi sono casi in cui le condizioni al contorno favoriscono la chiusura di alcuni canali di liquido. In questo caso nelle zone chiuse non ci sarà la possibilità di richiamare altro metallo liquido. Questo significa che, una volta che anche il liquido intrappolato solidificherà, non vi sarà nuovo materiale che potrà compensare il calo di volume. Come risultato si formeranno dunque delle cavità di dimensione microscopica, ovvero delle porosità.

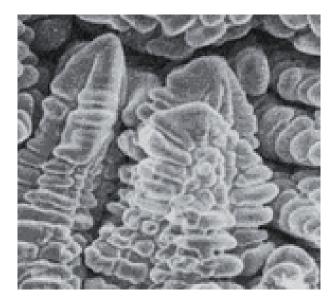




Figura 11 - Morfologia spugnosa

È importante sottolineare che il ritiro non si può in alcun modo evitare. Esso è un fenomeno naturale e fisiologico del passaggio dalla fase liquida a quella solida. L'unica cosa che si può cambiare è la zona dove far avvenire l'ultima solidificazione. Lì infatti il fenomeno sarà più marcato e problematico. Per questo, in qualunque processo di fusione, la comprensione degli scambi termici risulta di fondamentale importanza. Progettando lo scambio termico in maniera adeguata si può far avvenire il raffreddamento e la solidificazione in modo tale da concentrare il ritiro del materiale in zone in cui questo non crei problemi, siano essi di natura estetica (difetti superficiali) o meccanica (rottura dei pezzi).

2.2 Come si manifesta il difetto

I difetti derivanti dal fenomeno del ritiro si possono dividere in due categorie in base al posizionamento nell'oggetto in cui si manifestano. Il difetto si può manifestare sulla superficie del pezzo andando a creare problemi estetici, in questo caso si parla di cavità da ritiro, oppure internamente portando a possibili rotture, definito in questo caso con il nome di infragilimento da ritiro.

2.2.1 Cavità da ritiro

Nel mondo orafo, l'estetica è il fattore principale che si deve tenere in considerazione quando si progetta e si produce un oggetto. Le cavità da ritiro rappresentano un problema notevole se presenti in superficie in quanto producono porosità o modifiche dimensionali che rendono il pezzo inutilizzabile. E' questo un fenomeno che dipende dalla temperatura, dalla velocità di raffreddamento e, nel caso della microfusione, anche dall'architettura dell'alberino. Questo metodo produttivo presenta in modo più marcato questo difetto, in quanto la particolare disposizione dei canali di alimentazione e la struttura degli oggetti prodotti generano molto spesso le condizioni

ideali per la manifestazione delle cavità da ritiro. Esistono però soluzioni che possono evitare tali difetti o comunque concentrarli in posizioni che non creino problemi per il successivo utilizzo dell'oggetto.

L'esperienza insegna che questa tipologia di difetto si presenta in zone particolari degli oggetti prodotti, ad esempio caratterizzate da sezioni particolarmente ampie, su lamine con superficie elevata e spessore ridotto, e in corrispondenza di strizioni.

Nell'esempio in figura 12 si può notare come queste cavità si manifestano in oggetti massivi dove si riscontra porosità concentrata nella zona più sottile del pezzo. Questo è dovuto al fatto che l'oggetto è alimentato in corrispondenza della parte più sottile.

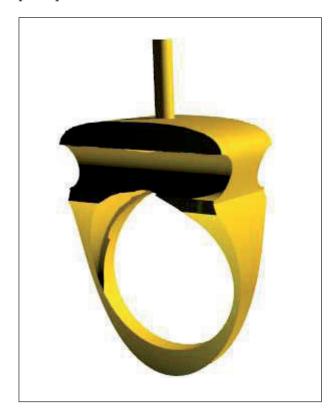




Figura 12 - Porosità da ritiro

Quando inizia a solidificare la parte vicina all'alimentatore si troverà l'alimentatore solido (perché più piccolo) e la parte verso la zona massiva solida (perché ha iniziato il processo di solidificazione prima) così non sarà disponibile del metallo liquido per evitare tali porosità da ritiro. La parte massiva risulta ancora liquida ma non collegata fisicamente alla parte sottile che solidifica per ultima e pertanto non aiuta a ridurre il difetto. Pertanto gli spazi vuoti dovuti alla contrazione da raffreddamento non sono riempiti e sono poi visibili come porosità diffusa se non addirittura come incompleto riempimento dello stampo. Per ovviare a questo problema, l'alimentatore deve essere sempre posto nella parte massiva dell'oggetto prodotto, come si può notare nel modello in figura 12.

Un discorso simile vale per oggetti con superfici piane ed ampie soprattutto se di spessore sottile come quelle in figura 13, dove a causa della particolare geometria, nella parte centrale della piastra avviene un istantaneo passaggio dalla fase liquida a quella solida.

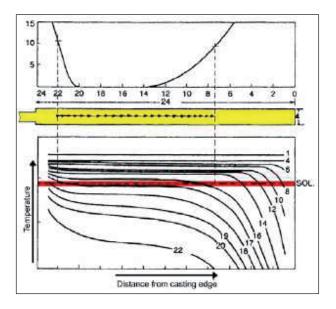




Figura 13 - Solidificazione di oggetti piatti

Nella figura 13 infatti, dalle curve isoterme si può

vedere che, se l'oggetto è montato orizzontalmente sull'alberino, durante il raffreddamento una grossa parte della piastrina solidifica contemporaneamente impedendo l'apporto di nuovo metallo liquido necessario a compensare la variazione di volume tipica di un passaggio liquido - solido. Avviene quindi uno sviluppo di porosità sulla superficie se non addirittura un ampio avvallamento che porta ad una variazione dimensionale della piastra. Bisogna dire che in questo caso, il difetto può essere ridotto ma non eliminato completamente ed è perciò necessario accettare questo tipo di problema. Si possono altrimenti raggiungere migliori risultati attraverso una particolare disposizione dell'architettura dell'alberino al fine di concentrare i difetti in una sezione più stretta, come si può vedere nel modello in figura 14. In secondo luogo una disposizione simile diminuisce la quantità di materiale che arriva a solidificare contemporaneamente. In questo modo le probabilità che il usso di metallo liquido si interrompa sono minori, così come la probabilità di avere fenomeni di ritiro all'interno o sulla superficie del pezzo.

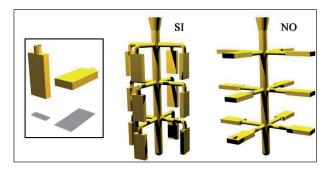


Figura 14 - Montaggio oggetti piatti

Seguendo questo sistema, infatti, la zona in cui avviene l'ultima solidificazione risulta essere l'alimentatore il quale viene successivamente asportato. Senza adottare questi accorgimenti, si rischia di avere porosità particolarmente diffuse come nel caso di figura 15 che mostra un esempio di cosa può provocare una disposizione errata del pezzo nell'alberino.

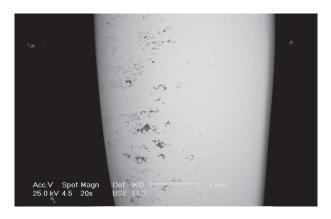


Figura 15 - Porosità da ritiro

Molto spesso nel campo dei metalli preziosi si tende a ridurre il peso degli oggetti adottando sezioni ridotte che consentono un minor utilizzo di materiale (figura 16). Questo accorgimento, associato alla necessità realizzare oggetti dal design sempre più articolato, richiede particolare attenzione nel dimensionamento e posizionamento degli alimentatori in quanto dal punto di vista uidodinamico le strizioni rappresentano un elemento critico.



Figura 16 - Alimentatore multiplo

Come regola generale si dovrebbe adottare quella di applicare un alimentatore in ogni punto critico dell'oggetto utilizzando sistemi a forcella, come si può notare nel modello in figura 16. Infatti posizionando un solo alimentatore, prima o dopo la strizione, il metallo fuso non riesce a raggiungere l'estremità opposta del pezzo, generando sicuramente cavità da ritiro come nel caso in figura 17. Utilizzando alimentatori multipli è invece possibile alimentare contemporaneamente la parte massiva del pezzo e le zone con strizioni minimizzando il problema.



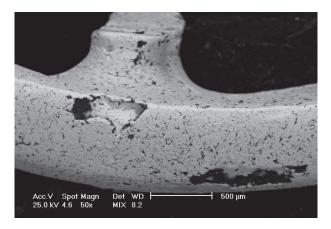
Figura 17 - Porosità da ritiro

In conclusione, per cercare di evitare la formazione di cavità da ritiro, è consigliabile posizionare gli alimentatori nelle zone più critiche per il riempimento, ovvero:

- in corrispondenza della parte più pesante dell'oggetto (dove è concentrata la massa più grande di metallo);
- in corrispondenza di cambi di sezione, angoli pronunciati;
- in posizione che, pur consentendo di montare facilmente l'oggetto sull'alberino, garantisca che quella zona sarà l'ultima a riempirsi ed a solidificare.

Inoltre, l'alimentatore deve essere del diametro adeguato per evitare che questo solidifichi prematuramente e non sia più in grado di fornire un adeguato apporto di metallo liquido al getto in solidificazione.

Nella microfusione la temperatura è un altro parametro molto in uente nello sviluppo delle cavità da ritiro. Ad esempio, una temperatura dei cilindri di gesso troppo bassa comporta una solidificazione della superficie dei pezzi e dei canali di alimentazione (soprattutto se troppo piccoli) eccessivamente rapida bloccando così il usso di metallo liquido. Un caso pratico è riportato in figura 18.



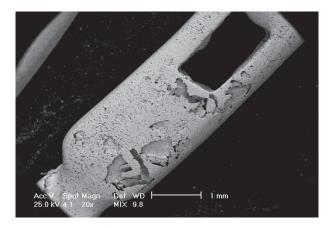


Figura 18 - Effetto della temperatura

In questo esempio, dell'oro rosso 14 ct è stato colato con la temperatura dei cilindri a 430°C. Gli alimentatori si sono solidificati prima del pezzo stesso, non riuscendo a fornire il metallo liquido necessario per ottenere una superficie priva di difetti. E' bastato alzare la temperatura dei cilindri fino a 600°C per eliminare completamente il problema.

Un eventuale aggiunta di serbatoi o volani termici sulle posizioni critiche (vedi figura 19) controlla la fase di solidificazione, garantendo una riserva di metallo liquido che può essere poi utilizzata dall'oggetto, durante il ritiro in fase di solidificazione.

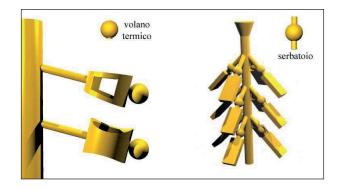


Figura 19 - Serbatoi o volani termici

I serbatoi e volani, infatti, essendo di forma sferica, hanno minore velocità di dispersione del calore rispetto a qualsiasi altro solido e mantengono la fase liquida per più tempo. Eventuali difetti da ritiro saranno quindi concentrati in queste sfere che potranno essere successivamente eliminate. Le controindicazioni di questa tecnica compaiono nella fase di spiantonamento (sgrappolatura): spesso si hanno problemi di finitura, soprattutto se i serbatoi sono posizionati in zone ampie e piane che risultano più difficili da lucidare.

2.2.2 Infragilimento da ritiro

Nonostante nel campo dei metalli preziosi l'estetica sia forse l'aspetto di maggiore importanza, ci sono casi in cui l'infragilimento dovuto

al fenomeno del ritiro, porta ad una diminuzione della resistenza meccanica, tale da dover adottare soluzioni per arginare il problema. E' questo un difetto da tenere in notevole considerazione perché può portare alla rottura del pezzo, sia durante la fase di produzione che in esercizio, quando, cioè l'oggetto è già nelle mani del cliente.

Questa tipologia di difetto può essere associata alla formazione di coni da ritiro, allo svilupparsi di porosità da ritiro, nonché alla compresenza dei due fenomeni.

Nella maggior parte dei casi il cono da ritiro si presenta sulla parte esterna dei manufatti, dove non crea problemi dal punto di vista meccanico. Tuttavia condizioni o lavorazioni particolari possono portare questo tipo di difetto all'interno del manufatto. Nel caso in cui lo smaltimento di calore attraverso la superficie libera sia elevato (come con lingotti di dimensioni notevoli o metallo ad alto punto di fusione), si forma una crosta superiore dura, prima che avvenga la solidificazione al cuore e di conseguenza la contrazione volumetrica successiva si manifesta concentrando il ritiro in una o più sacche interne (vedi figura 20).

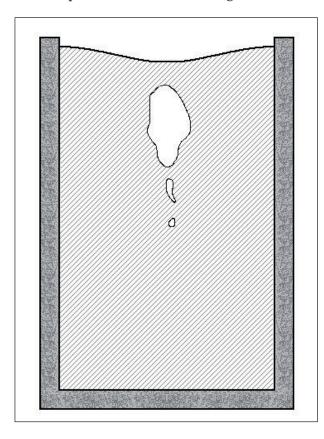


Figura 20 - Cavità da ritiro interne al manufatto

Tali cavità interne riducono la sezione resistente e possono portare alla rottura della lama durante il processo di laminazione. La rottura avviene lungo l'asse centrale della lama che si divide in due parti (come una suola di scarpa) e comunemente coinvolge solo una parte della lastra.

Normalmente la rottura avviene a seguito di una deformazione plastica al laminatoio per superamento del carico di rottura del materiale. Lungo la sezione di rottura non si nota la presenza di sacche da ritiro o di mancanza di materiale in quanto nella fase di laminazione tali cavità sono state chiuse.

Si possono osservare delle zone di discontinuità più netta, con superficie più regolare, a testimonianza che in tale zona non si ha avuto decoesione del materiale perché già non vi era continuità strutturale: tali zone corrispondono alle superfici delle bolle che in fase di laminazione sono state schiacciate l'una sull'altra senza però ottenere una vera e propria coesione. Il rimedio adottato consiste nel colare nella forma una quantità di metallo liquido maggiore; in altre parole si aggiunge più metallo di quello necessario in modo tale che il ritiro avvenga all'interno di questa eccedenza di materiale (chiamata materozza), che solidifica per ultima e che a solidificazione completata viene asportata dal pezzo stesso.

A tal proposito risulta chiaro che sono preferite staffe verticali rispetto a quello orizzontali. Infatti nelle staffe verticali è possibile concentrare il difetto da ritiro nella parte superiore della staffa o meglio ancora produrre una materozza (che poi verrà tagliata), mentre nelle staffe orizzontali si avrà la disposizione dei difetti da ritiro lungo tutta la superficie, come si può osservare in figura 21.

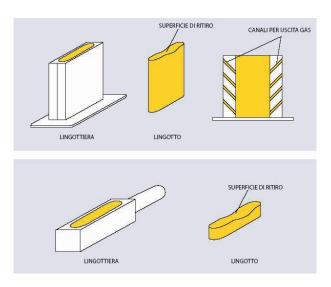
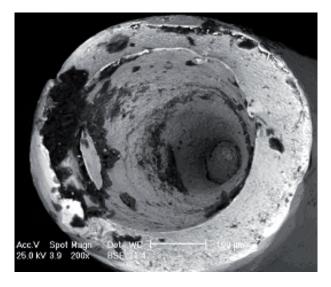


Figura 21 - Staffe orizzontali e verticali

Altro caso in cui la sezione resistente ha subito una rilevante diminuzione portando a rottura il pezzo è quello riportato nella figura 22.



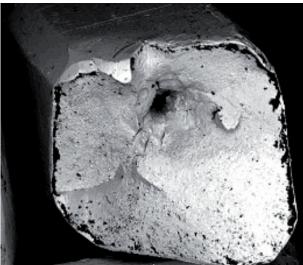


Figura 22 - Rotture dovute a cavità da ritiro

I due pezzi in figura sono prodotti tramite colata continua e successivamente lavorati al laminatoio ed in trafila. La rottura in esame si presentava dopo vari passaggi di lavorazione meccanica ma, come si può vedere, la morfologia nella zona di frattura presentava un evidente cono da ritiro. Evidentemente questo ritiro si è formato a seguito dello stop macchina necessario per riempire il crogiolo di fusione nel processo di produzione per colata continua. L'ondata di metallo successiva allo stop macchina evidentemente non è riuscita ad agganciarsi alla cavità prodotta dal ritiro in solidificazione e il metallo non si è saldato in maniera opportuna. In seguito questo è risultato fatale per la resistenza meccanica dell'oggetto durante le operazioni di lavorazione a freddo, dato che la sezione resistente è risultata essere solo una sottile corona esterna come si può notare nella figura 22. In questo caso specifico, il problema si può evitare tagliando la coda della barra in modo da eliminare la parte di metallo contenente il cono da ritiro. In questo modo il cono da ritiro non arriva alle successive fasi di lavorazione e non crea zone di debolezza eccessiva del materiale.

Vi sono casi invece in cui l'infragilimento si manifesta a causa di porosità da ritiro microscopica e diffusa. Si crea, infatti, una rete di cavità interconnesse che mina profondamente la struttura del materiale manifestandosi con una morfologia spugnosa di dendriti separate da cavità (come si può osservare in figura 23). La frattura avviene nella zona che presenta tale struttura spugnosa, che normalmente si focalizza nella parte più sottile dell'oggetto. Solitamente la vicinanza di sezioni piccole a sezioni grandi favorisce la comparsa di questa problematica. Per cautelarsi o risolvere un problema simile si possono adottare gli accorgimenti già suggeriti in precedenza per la porosità da ritiro. Il fenomeno alla base di entrambi i problemi è infatti il medesimo. Ciò che cambia tra i differenti casi è solamente l'entità e la concentrazione del difetto in zone del materiale più o meno critiche.

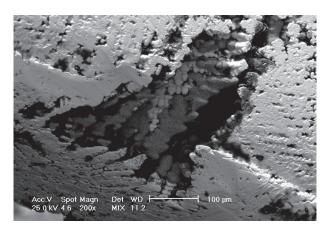


Figura 23 - Zona spugnosa

3. Difetti dovuti ad inclusioni

3.1 Cenni di teoria

Con inclusione si intende tutto ciò di non metallico si possa trovare all'interno di una lega metallica. È chiaro dunque che i difetti dovuti ad inclusioni possono avere molteplici origini. Nel caso di lavorazioni orafe si riscontrano in particolare:

- inclusioni di refrattario
- inclusioni di grafite
- inclusioni di ossidi
- inclusioni di abrasivi

Per quanto riguarda la trattazione teorica relativa all'origine del difetto dal momento che non è possibile trattare l'argomento in maniera unitaria, preferiamo rimandare congiuntamente alla descrizione di ogni singolo difetto.

3.2 Come si manifesta il difetto

Di seguito viene affrontata la problematica relativa alle inclusioni; per ogni caso si forniscono gli

strumenti teorici necessari alla comprensione dei meccanismi di formazione del difetto, arricchendo la trattazione con alcuni esempi reali.

3.2.1 Inclusioni di refrattario

La capacità erosiva del metallo liquido all'interno dei condotti di alimentazione dello stampo, dipende dalle caratteristiche del moto che si sviluppa. E' possibile definire il moto laminare come moto rettilineo unidirezionale di strati in forma di lamine entro un condotto di sezione costante; in questa ipotesi le componenti della velocità sono nulle eccetto la componente nella direzione del moto, la quale a sua volta è costante in questa direzione per il carattere uniforme del movimento. Esiste un parametro adimensionale definito numero di Reynolds in base al quale si definiscono le caratteristiche del moto del uido in base al tipo di condotto e della viscosità e velocità del uido. I parametri in gioco sono viscosità cinematica, velocità del uido e diametro condotto.

Il moto laminare si presenta per bassi valori del numero di Reynolds, il cui significato fisico è dato dal rapporto tra le forze di inerzia e la viscosità del uido.

$$Re = \frac{forze \ d'inerzia}{forze \ viscose} = \frac{v \cdot D}{v}$$

dove $\, v \,$ rappresenta la velocità del $\, uido; \, D \,$ è il diametro del condotto; $\, v \,$ rappresenta la viscosità cinematica.

Come è facile comprendere dall'espressione del numero di Reynolds, più alte sono le forze viscose, maggiore è il carattere laminare del moto. Non appena gli effetti dell'inerzia diventano abbastanza importanti rispetto alla resistenza viscosa, il moto del uido assume caratteristiche del tutto diverse.

L'inerzia tende ad esaltare le perturbazioni del uido (le forze viscose invece tendono a smorzarle) modificando le caratteristiche del moto, che viene quindi definito turbolento. In queste condizioni gli atomi non si muovono più per traiettorie parallele, come nel caso del moto laminare, ma passano continuamente e tumultuosamente da una zona all'altra del tubo.

Il passaggio dal comportamento laminare a quello turbolento è definito dal numero di Reynolds critico, dipendente dalla velocità e dalle caratteristiche del liquido e del tubo. Superato questo limite il moto laminare è estremamente instabile e basta una minima perturbazione per farlo passare definitivamente a moto turbolento.

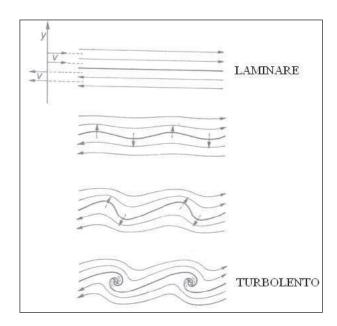
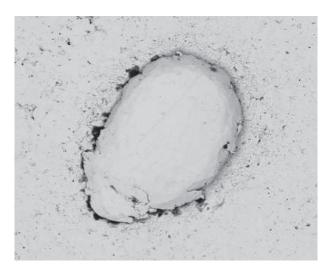


Figura 24 - Passaggio da moto laminare a turbolento

La tendenza all'instabilità, cioè la propensione a formare vortici (figura 24), è tanto più pronunciata quanto maggiore è la velocità del uido, mentre a tale tendenza si oppone la viscosità.

Poiché il moto turbolento è essenzialmente costituito da innumerevoli piccoli vortici orientati in tutte le direzioni, è chiaro che in ogni punto la sollecitazione a cui è soggetta la superficie dello stampo, si presenta diversa istante per istante, in dipendenza dal vortice in transito nelle immediate vicinanze. Le componenti uttuanti della velocità, tipiche della turbolenza, determinano l'insorgere di sforzi tangenziali caratterizzati da frequente cambio di direzione; questa condizione rende il moto turbolento molto più aggressivo rispetto al moto laminare dal punto di vista dell'erosione superficiale. Per questo motivo è di fondamentale importanza mantenere il moto il più vicino possibile alle condizioni laminari, mantenendo basso il numero di Reynolds. Per fare ciò possiamo modificare la composizione chimica del metallo in modo da aumentarne la viscosità. L'unico elemento chimico che al riguardo potrebbe essere d'aiuto risulta il silicio; infatti è dimostrato che l'aggiunta di tale elemento aumenta la viscosità delle leghe auree, riducendo la turbolenza nei processi di colata. Nel caso in cui si consideri una viscosità costante del uido, l'unico modo per ridurre la turbolenza è agire sulla velocità di immissione del metallo liquido nello stampo e sulla scabrezza della superficie. Rendere liscia la superficie ha un duplice vantaggio: innanzitutto si limita la turbolenza, inoltre si riducono le sporgenze che staccandosi rimangono incluse nell'oggetto prodotto. A causa del tipo di tecnologie coinvolte nel campo orafo, molto difficilmente si riesce ad operare in condizioni di moto laminare, ma con alcuni accorgimenti è possibile ridurre al minimo le problematiche dovute alle inclusioni di refrattario.

Le inclusioni di refrattario non hanno solo un impatto estetico negativo (vedi figura 25), ma rischiano di compromettere anche la realizzazione dell'oggetto. Esse hanno, infatti, misura variabile e possono arrivare ad ostruire i condotti di alimentazione, portando a mancato riempimento dello stampo, specialmente nel caso della microfusione.



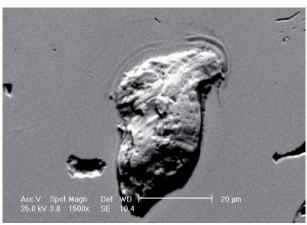


Figura 25 - Inclusioni di refrattario

Sia le dimensioni che il numero di inclusioni dipendono dalla qualità del refrattario e dalla forza d'urto del liquido sulla superficie. Infatti, più elevata è la velocità di entrata del metallo nel refrattario, maggiore è l'energia cinetica con cui il uido impatta sulla superficie aumentando così la capacità di erosione. Deve prestare particolare attenzione a questo problema, chi utilizza sistemi centrifughi: questa tecnologia infatti sfrutta la forza centrifuga per ottenere un completo riempimento dello stampo; l'incremento di velocità del liquido che ne risulta non deve essere tale da portare erosione. Un'altra causa di rilascio di inclusioni da parte dello stampo è l'errata progettazione dei condotti di alimentazione nelle zone di raccordo. Come esemplificato nel disegno di figura 26, nella realizzazione dell'alberino, ogni spigolo vivo deve essere smussato in modo da limitare il distaccamento di particelle. Gli spigoli

vivi infatti rappresentano zone più critiche rispetto a raccordi smussati.

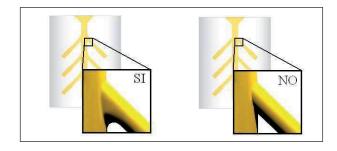


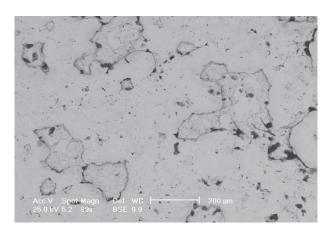
Figura 26 - Zone di raccordo

In questo modo, con un semplice accorgimento in fase di realizzazione dell'alberino si riduce notevolmente l'incidenza di inclusioni da refrattario. Alla luce delle precedenti considerazioni, emerge la necessità di garantire la massima regolarità della superficie dello stampo. A tale scopo è importante miscelare l'impasto con il giusto rapporto gesso/acqua e seguire specifiche fasi durante il ciclo di cottura del gesso (deceratura, cottura e stabilizzazione) in modo da ottenere, oltre ad una superficie regolare, anche una adeguata resistenza

meccanica. Nel particolare per garantire le massime proprietà meccaniche del refrattario si raccomanda di prestare la massima attenzione alle seguenti condizioni/fasi:

- rapporto acqua/gesso: seguire le istruzioni del produttore di refrattario
- la deceratura: bisogna ottenere la completa evacuazione della cera, non devono esserci residui carboniosi
- ciclo di cottura: seguire le istruzioni del produttore di refrattario

In figura 27 viene riportato un caso di difettologia dovuta all'errato rapporto tra acqua e gesso.



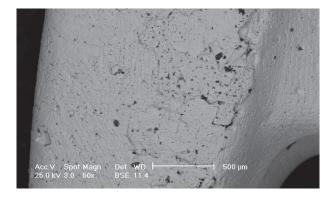


Figura 27 – Difetto dovuto ad errato rapporto tra acqua e gesso

Si possono osservare come dei "canali" d'acqua che si sono formati a contatto con la cera per cui in questo caso è stato sbagliato il rapporto acqua gesso inserendo troppa acqua. Questo comporta l'ottenimento di oggetti con superficie ruvida. Per risolvere il problema si raccomanda di utilizzare la quantità di acqua suggerita dal produttore del gesso. Buona norma è preparare il rivestimento in un ambiente condizionato, in modo tale da riuscire a controllare anche l'umidità e la temperatura che potrebbero alterare il risultato finale. Da verificare anche la fase di miscelazione acqua gesso perché se non si ha una buona miscelazione potrebbe succedere che ci sono zone ricche d'acqua (che presentano il difetto di figura) accanto a zone scarse d'acqua che presentano scarse proprietà meccaniche del refrattario e quindi facilitano il distacco dello stesso.

Come è ben visibile in figura 28, il pezzo presenta notevoli quantità di inclusioni di refrattario all'interno dei fori che non rendono possibile l'incastonatura delle pietre. Tale difetto è dovuto a temperature di cottura del gesso troppo basse che non consentono una completa calcinazione e quindi l'ottenimento di uno stampo (per stampo si intendono i cilindri) con sufficienti proprietà meccaniche. Nel caso di figura 28 si è seguito quanto riportato nelle schede tecniche del prodotto (si è aumentata la massima temperatura raggiunta dal ciclo a 750°C e si sono allungati i tempi di permanenza in forno) risolvendo l'inconveniente.

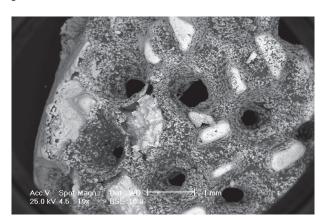




Figura 28 - Inclusioni di refrattario

Bisogna inoltre ricordare che il gesso provoca la formazione di solfuri che possono segregare a bordo grano ed infragilire notevolmente il pezzo, ma tale argomento sarà analizzato in dettaglio nella sezione dedicata alle impurezze.

In figura 29 viene riportato un altro esempio di inclusioni di refrattario dovuto all'utilizzo di una polvere non conservata nelle giuste condizioni e quindi con scarsa resistenza meccanica.

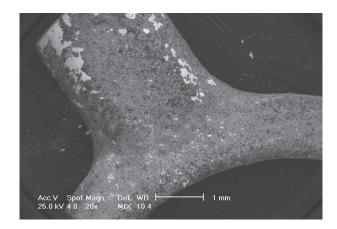




Figura 29 – Esempi di inclusioni di refrattario dovute all'utilizzo di un refrattario vecchio

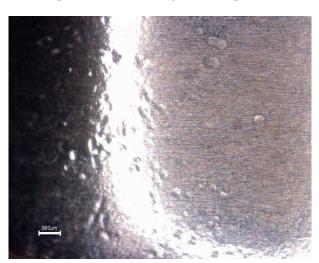
Un altro tipo di difetto imputabile al refrattario è quando si ottiene una superficie ruvida associabile alla formazione di gas unita a delle "creste" sugli spigoli del getto. Tali "creste" sono dovute

alla frattura del rivestimento e sono più numerose ed evidenti nella parte del cilindro opposta alla materozza.

Tale tipo di difetto si manifesta con più facilità se si utilizzano macchine fusorie centrifughe e alte carature.

Per eliminare tale problematica si deve verificare che il ciclo di preparazione del refrattario sia corretto per ottenere le massime caratteristiche meccaniche di esso. Infatti, la causa di questo difetto è da attribuire al metodo di colaggio, perché tanto maggiore è la pressione che spinge il metallo fuso nello stampo tanto più alto è il rischio di ottenere la rottura del refrattario (e anche una superficie ruvida) per cui il refrattario deve presentare una resistenza adeguata alla pressione e alla abrasione del metallo che riempie lo stampo.

E' pratica molto diffusa utilizzare del talco per facilitare la separazione del modello in cera per alcuni tipi di gomme. In fase di deceratura però viene rimossa la cera mentre il talco rimane sulla superficie del refrattario riducendo notevolmente la qualità superficiale dell'oggetto dopo fusione come si può osservare in figura 30 sopra.



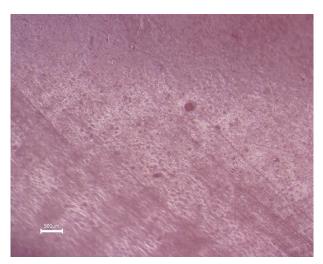


Figura 30 - Porosità superficiale dovuta all'utilizzo di talco

Il risultato finale sarà quello di ottenere una notevole porosità superficiale dell'oggetto. Per evitare tale problema si raccomanda di non far uso di talco. Se alcuni modelli presentano grosse difficoltà al distacco dalla gomma eventualmente utilizzare degli spray siliconici. Si ricorda inoltre che se si utilizza talco non si devono riutilizzare le cere scartate altrimenti il talco viene inglobato all'interno della cera con la possibilità di avere dei problemi di inclusioni di impurezze nel getto finale. Nella figura 30 a sotto si riporta la foto di una cera con delle inclusioni di talco.

3.2.2 - Inclusioni di grafite

La grafite, di cui normalmente sono composti i crogioli, è la forma del carbonio elementare termodinamicamente più stabile alle condizioni ambiente e presenta una struttura a lamelle esagonali appiattite secondo la base. Gli atomi di Carbonio giacciono in un serie di piani paralleli, entro ciascuno dei quali sono disposti ai nodi di un reticolato a maglie esagonali (figura 31).

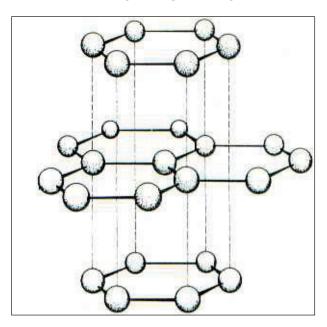


Figura 31 - Reticolo cristallino grafite

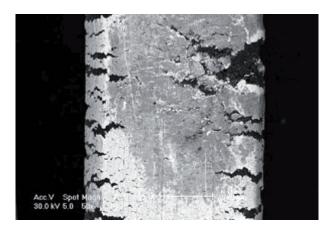
A causa di questo, la sua struttura risulta essere poco compatta. Le distanze C-C sono assai diverse se misurate dentro i piani oppure tra piano e piano. Di conseguenza la struttura della grafite può considerarsi di tipo molecolare, dove ogni piano costituisce una molecola bidimensionale indefinitamente estesa. Tramite questo modello strutturale si spiegano immediatamente le caratteristiche meccaniche della grafite, in particolare la sua facile e perfetta sfaldatura parallela ai "piani molecolari" e la durezza bassissima. Tuttavia avendo un punto di fusione molto alto viene utilizzata nei crogioli refrattari destinati ad usi speciali. La grafite inoltre brucia più velocemente del diamante, e la velocità di combustione dipende essenzialmente dalle dimensioni dei singoli cris-

talli. Questo provoca un consumo notevole del crogiolo durante la fusione soprattutto se non si fonde in atmosfera inerte. L'indebolimento della superficie associato alle basse proprietà meccaniche provoca il distaccamento di particelle che in fase di colata vanno ad includersi all'interno dell'oggetto.

I crogioli di grafite sono i più adatti per le leghe d'argento e quelle d'oro perché offrono condizioni di leggera riduzione e inerzia chimica verso il metallo liquido. Il carbonio contenuto nella grafite del crogiolo reagisce lentamente con l'ossigeno dell'aria circostante quando viene riscaldato e produce uno strato di ossido di carbonio sopra la fusione. L'ossido di carbonio (CO) rende minima l'ossidazione della superficie della fusione e pare sia un agente riducente poiché tende a ridurre gli ossidi basici a metallo originale, ad esempio:

$$Cu_2O + CO \rightarrow Cu + CO_2$$

Alla luce di quanto sopra esposto, possiamo dire che il parametro che in uenza maggiormente la presenza di inclusioni all'interno del materiale è il numero di riutilizzi del crogiolo e di tutti gli elementi della macchina per fusione composti di grafite. Maggiore è infatti il numero di volte che il materiale è esposto a condizioni critiche, più alto sarà il livello di cessione di particelle di grafite. Nel caso di fusioni in macchine aperte si deve eseguire un riscaldamento preliminare dove i crogioli devono essere cosparsi di borace sulle pareti in modo che si formi una spessa superficie vetrosa capace di proteggere il crogiolo stesso dall'ossidazione. Si riduce così anche la probabilità di avere nella lega delle inclusioni di particelle di grafite che si staccano dalle pareti del crogiolo.



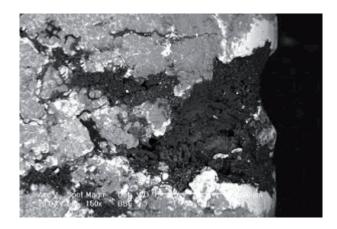


Figura 32 - Inclusione di grafite

In figura 32, si può osservare un eloquente esempio di inclusione di grafite a seguito di colata continua. Un eccessivo utilizzo del crogiolo aumenta la probabilità di trovare inclusioni di grafite all'interno del semilavorato. Come si può vedere dalle figura 33, queste possono raggiungere dimensioni e concentrazioni tali da compromettere la resistenza meccanica del materiale. Naturalmente il riutilizzo di sfridi aumenta progressivamente la quantità di carbonio presente in lega. Se possibile si raccomanda di effettuare la fusione in atmosfera neutra (ad esempio con l'utilizzo di azoto o argon), soluzione applicabile solo nel caso si utilizzino sistemi fusori chiusi.

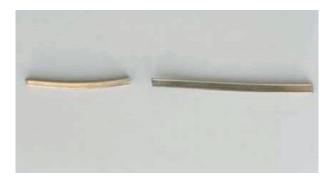




Figura 33 - Rottura dovuta a grafite inclusa



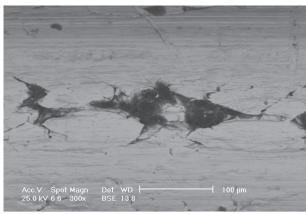
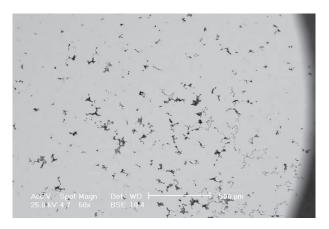
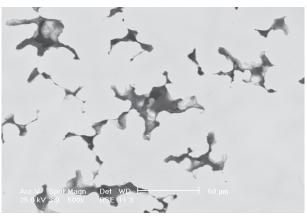


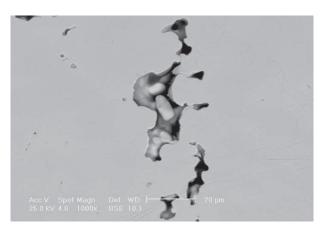
Figura 34 – Esempi di inclusioni di grafite osservate in una lastra colata a amano (seconda immagine) e in una catena (prima immagine).

3.2.3 Inclusioni di ossidi

Un'altra tipologia di inclusione è data dalla presenza di ossidi all'interno della lega. Un ossido è il prodotto di una reazione chimica tra l'elemento e l'ossigeno chiamata ossidazione. Anche nota con il nome di corrosione a secco, avviene in ambienti gassosi a carattere ossidante ed è una reazione che colpisce la maggior parte dei metalli presenti in natura. Dal punto di vista chimico-fisico, gli elementi che non sono in equilibrio nelle atmosfere abituali, tendono a trasformarsi nei loro composti più stabili quali ossidi, idrossidi, carbonati ecc. Naturalmente il continuo riutilizzo del rottame causa un accumulo di ossidi nella lega che possono portare alla formazione di superfici fortemente porose. Di solito i pori si presentano piccoli e quasi sferici assieme a pori più grandi di forma irregolare (questi ultimi assomigliano molto alle porosità da ritiro) come si può notare in figura







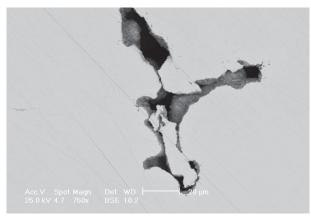


Figura 35 – Porosità da inclusione di ossidi

Di solito al microscopio si vedono sulle sezioni inclusioni di ossidi. Questo tipo di difetto è spesso

osservato quando si usa metallo ossidato o quando non sono state prese precauzioni per impedire l'assorbimento di ossigeno durante la fusione. Naturalmente ogni volta che si riutilizza del materiale si ha un incremento della quantità di ossidi presenti.

Se si lavora con un metallo con eccessive inclusioni di ossido di rame potrebbe succedere che in fase di solidificazione si abbia la decomposizione di tali ossidi con liberazione di ossigeno che forma poi i pori. Molto probabilmente anche la presenza di agenti riducenti, quali potrebbero essere il refrattario vecchio (ricco di solfuri) favorisce la comparsa di tale difetto.

Questo difetto può essere evitato se si usa materiale pulito e non ossidato e se le condizioni di colaggio sono controllate in modo tale da evitare un'eccessiva ossidazione del metallo. Naturalmente l'utilizzo di macchine fusorie chiuse garantisce la comparsa del problema solo dopo molte fusioni. Se si utilizzano macchine aperte l'utilizzo di fondenti può aiutare a ridurre la quantità di ossidi che fusione dopo fusione viene inglobata nel metallo. I Fondenti sono sostanze che servono ad affinare la massa liquida, ovvero riducono i componenti inquinanti della lega come ad esempio l'ossigeno. I fondenti hanno un duplice comportamento: - costituiscono uno strato galleggiante sulla superficie del metallo fuso evitando il contatto con l'aria; - reagiscono con gli ossidi presenti nella fusione e formano una scoria fusa che viene tolta prima della colata.

I fondenti principalmente utilizzati sono il borace e l'acido borico.

Il borace (piroborato di sodio, è il sale dell'acido borico) è il fondente più importante per quanto riguarda le leghe d'oro. Si preferisce il borace anidro al posto del tetraborato di sodio idrato (Na2B4O7·10H2O) in quanto quest'ultimo, durante il riscaldamento, libera l'acqua di cristallizzazione sotto forma di vapore acqueo, il quale può causare porosità nella lega.

Sottoposto a riscaldamento a 741°C il borace va a fusione e si trasforma in metaborato di sodio e in triossido di boro mescolati in una sostanza liquida: Na2B4O2 II 2NaBO2 + B2O3

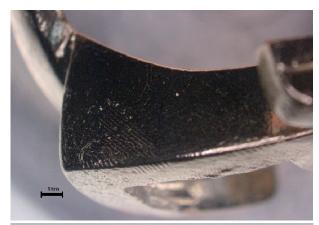
Il triossido di boro trasforma gli ossidi metallici indesiderati in metaborati. Il metaborato di sodio si mescola facilmente con i nuovi metaborati che si sono formati trascinandoli via, permettendo a nuove parti attive di triossido di boro di entrare in funzione.

L'acido borico forma intorno ai 900°C una spessa scoria sopra il metallo che non permette l'ingresso di altre impurità.

Pertanto nel caso di leghe auree si consiglia di utilizzare l'acido borico in scaglie assieme al borace in polvere così il primo forma una barriera sopra la lega mentre il secondo scioglie gli ossidi anche a temperature più basse.

E' possibile vedere dalla colorazione che assume

il fondente dopo la fusione, il tipo di ossido che hanno sciolto. Infatti un aspetto vetroso e incolore ci indica che non ci sono ossidi disciolti, mentre una colorazione verde-blu significa la presenza di ossidi di rame e una colorazione grigia ci indica la presenza di ossidi di zinco o di cadmio (bandito nelle normative europee).



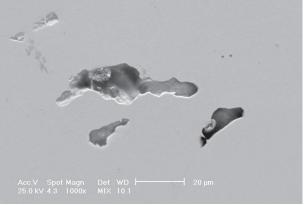


Figura 36 – Esempi di inclusioni di ossidi osservati in un anello microfuso (36 sopra) ed in colata continua (36 sotto)

3.2.4 Inclusioni di abrasivi

Di fondamentale importanza in campo orafo è la finitura degli oggetti prodotti che conferisce quelle proprietà estetiche che il mercato richiede. Questo stadio del processo produttivo si articola in diverse fasi che comprendono decapaggio, sgrassatura, levigatura e lucidatura. In particolare le ultime due si effettuano utilizzando abrasivi, cioè piccoli cristalli molto duri, caratterizzati da granulometria variabile e dipendente dal livello di finitura superficiale che si ha intenzione di ottenere. Queste sostanze possono essere naturali (come silice, corindone naturale, quarzo, diamante, pietra pomice ecc..) o artificiali (vetro, smeriglio, allumina, sassomarcio, rossetto, diamante artificiale ecc) e vengono incollate su supporti cartacei o tessili che ne rendono pratico l'utilizzo. Indipendentemente dal tipo di strumento utilizzato, il principio base del processo di lucidatura consiste nella rimozione di materiale, come avviene nella

lavorazione dei metalli per asportazione di truciolo. In questo caso però, si parla di limatura microscopica pertanto la lavorazione non modifica sensibilmente le dimensioni dell'oggetto, ma ne consente la lucidatura. In definitiva, ogni singolo cristallo della carta abrasiva, agisce come un piccolo utensile che con forze di taglio va ad incidere microscopicamente la superficie uniformandola. Le forze in gioco sono schematizzate in figura 37 dove si può vedere che la maggiore sollecitazione incidente sul cristallo è la "cutting force" (Fc).

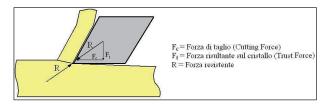


Figura 37 - Forze agenti sui cristalli della carta abrasiva

Nel momento in cui la forza di taglio risulta maggiore del limite di rottura del cristallo o supera la resistenza con cui la colla tiene unita la pasta abrasiva al supporto, avviene il distacco della particella. Questa, in qualche caso, può rimanere inclusa nella superficie dell'oggetto trattato come si può notare in figura 38. La foto mostra un inclusione di allumina dovuta all'utilizzo di paste abrasive. In tale processo la geometria del pezzo gioca un ruolo fondamentale. Infatti oggetti con ampie superfici piane favoriscono questo fenomeno di "inglobamento" di abrasivi in quanto il microutensile "lavora" per un lungo tratto sul materiale e tende ad essere piantato sul pezzo, mentre nel caso di geometrie sferiche, ad esempio, gli abrasivi lavorano per poco tempo sul pezzo e tendono ad essere scaricati fuori dalla superficie dell'oggetto.





Figura 38 - Inclusione di abrasivo a base di allumina

Anche la durezza delle paste abrasive risulta un parametro importante. Ad esempio per l'oro bianco si consiglia di utilizzare delle paste che presentino degli abrasivi con durezza più elevate delle paste utilizzate per oggetti in argento od in oro colorato. Bisogna fare attenzione inoltre che se si utilizzano paste con durezza troppo elevata potrebbe succedere che delle particelle si piantino su materiali teneri e pastosi.

Altro fattore determinante è la grossezza dei grani (grano) degli abrasivi. E' molto importante effettuare le passate successive con degli abrasivi adeguati. Con questo si intende che dopo la passata con una carta grossa non si può fare subito la passata di finitura in quanto risulta impossibile ottenere delle superfici perfettamente lucide perchè i segni lasciati dalla carta grossa sono troppo profondi per essere tolti con il panno finale. Si devono calibrare le varie passate in modo tale che nel passaggio successivo si sia in grado di togliere tutti gli strisci provenienti dal precedente.

In figura 39 sono riportate delle particelle di allumina conficcate nel metallo.





Figura 39 - Allumina conficcata nel metallo

In questo caso la soluzione è risultata più semplice del previsto in quanto il problema dipendeva dalla qualità delle carte. Il legante utilizzato era scadente e le particelle di abrasivo si staccavano facilmente; in questo modo, considerando il fatto che si lucidava un materiale tenero si è ottenuto l'effetto illustrato in figura. Con la sola sostituzione delle carte, si è risolto il problema. In generale però se la durezza del materiale è troppo bassa con leghe induribili si può fare un trattamento termico finale che aumenta la durezza dell'oggetto così da poter ottenere superfici lucidate meglio.

4. Difetti dovuti a segregazioni

4.1 Cenni di teoria

La teoria sulle segregazioni riprende la teoria alla base del ritiro, ovvero anche la segregazione ha origine durante la fase di solidificazione. In particolare si deve far riferimento al fatto che la composizione del materiale che progressivamente solidifica è sempre differente. Come già detto, tale fenomeno si può comprendere analizzando il diagramma di fase di una lega (figura 40).

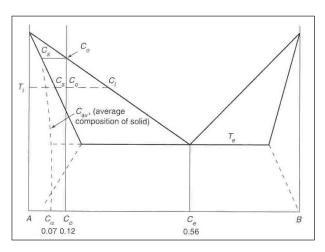


Figura 40 - Diagramma di fase

Quando una lega solidifica, si può prendere come regola generale, quella che il soluto, sia esso presente come impurezza o come elemento in lega, presenta una maggior solubilità allo stato liquido che allo stato solido. Questo nella maggior parte dei casi porta a dei fenomeni segregativi di elementi soluti, nella lega solida. Ci sono fondamentalmente due ragioni alla base della non uniformità del soluto. Innanzitutto, dato che il liquido si arricchisce progressivamente di soluto, man mano che la solidificazione procede, la percentuale di soluto tende ad aumentare nelle regioni che solidificano per ultime. Tutte le uttuazioni ad ampio raggio ricadono sotto il nome di macrosegregazioni. Più generalmente, con macrosegregazione si intende ogni variazione di composizione del metallo che si riscontra spostandosi da un punto all'altro del getto. Questo tipo di segregazione, non è sempre causata da solidificazione selettiva di costituenti alto-fondenti. In questo aspetto possono anche rientrare effetti gravitazionali. I cristalli che si formano liberamente nel liquido, hanno spesso una densità differente rispetto al liquido stesso. Come risultato essi possono migrare verso la superficie o il fondo del fuso. Questo tipo di problema potrebbe presentarsi nei processi di microfusione, nel caso in cui non si effettui la prefusione, infatti potrebbero esserci delle differenze di titolo in oggetti posizionati in punti diversi dell'albero. Anche in colata continua si potrebbe presentare lo stesso problema in quanto il metallo presenta un ampio fronte di solidificazione, necessario per essere trainato. Nei getti, però, non si trovano solo variazioni di composizione su lunga distanza, ma è altresì possibile avere variazioni di composizione su scala inferiore addirittura alle dimensioni cristalline. In questo caso si parla di microsegregazioni (in parte questo fenomeno è gia stato descritto). Si tratta infatti di segregazione associata alla struttura cristallina risultante dal movimento combinato dell'interfaccia solido-liquido e della zona in prossimità del sottoraffreddamento costituzionale. Un caso invece più comune di segregazione, è il cosiddetto coring causato dalla solidificazione dendritica della lega (figura 41).



Figura 41 - Effetto coring

Il braccio originale della dendrite (il primo nucleo di solidificazione), solidifica in maniera molto simile al metallo puro. Il liquido attorno a questo braccio è arricchito in soluto. Le zone comprese tra i rami, quando il liquido solidifica, diventano dunque regioni ad elevata concentrazione di soluto. La segregazione dendritica, o coring, è estremamente comune in tutte le leghe solidificate in condizioni normali. La rapida solidificazione, in ogni caso, può drasticamente ridurre la segregazione portando anche alla totale eliminazione del problema.

Un terzo tipo di fenomeno si ha quando si riutilizza lo stesso materiale in più di una fusione. Potrebbe succedere che leghe con affinatore del grano (iridio, rutenio, renio) portino alla presenza superficiale di punti di composizione completamente differente e solitamente di durezza elevata (chiamati appunto punti duri) in quanto fusione dopo fusione si accumulano aggregandosi tra loro. Anche il silicio potrebbe presentare tale problema, infatti specialmente nelle leghe bianche, tende a reagire con il nichel e formare dei composti che all'aumentare del numero di rifusioni si accrescono formando dei punti duri. Una considerazione importante è quella che per tutti gli elementi aggiunti in piccola quantità (parti per milione, quali affinatori e silicio) è fondamentale avere una buona omogeneizzazione in lega in quanto potrebbero, se concentrati in alcune aree, combinarsi tra loro e formare degli aggregati molto duri come sopra descritto.

4.2 Come si manifesta il difetto

E' pratica comune nel mondo orafo utilizzare preleghe, costituite da elementi di vario genere, che vengono inserite assieme all'oro nella fusione e che sono preparate appositamente per conferire alla lega preziosa specifiche caratteristiche meccaniche ed estetiche.

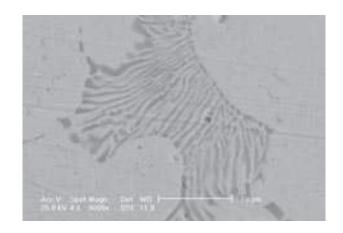
Va detto fin da subito che una prelega generalmente è studiata per dare buoni risultati soltanto se legata a certe specifiche carature. Questo perché, alcuni elementi che devono essere presenti nella lega in quantitativi molto bassi (ad esempio affinatori di grano o disossidanti), lavorano bene solo se presenti in ben determinate quantità. Ecco che allora legare a titoli diversi rispetto a quelli indicati, produce effetti importanti sulla concentrazione di tali elementi e quindi anche sull'efficacia della loro azione. Il fenomeno della segregazione, come nel caso delle impurezze, può portare alla comparsa di punti duri che, come sarà illustrato nel capitolo 5, compromettono l'estetica del pezzo. La segregazione inoltre, può in uenzare negativamente anche le proprietà meccaniche dell'oggetto prodotto, portando ad infragilimento. Come si vedrà poi, a seguito della segregazione, si rischia di incorrere in variazioni di composizione della lega che si traducono in un titolo non omogeneo all'interno del pezzo.

4.2.1 - Variazione di composizione da segregazione

Come precedentemente accennato, la presenza di macrosegregazioni comporta una variazione di composizione all'interno dell'oggetto. Si hanno quindi zone caratterizzate da alto contenuto di elementi in lega e quindi un titolo inferiore a quello previsto. Viceversa, si ha un titolo maggiore e carenza degli altri elementi nelle rimanenti zone. In particolare si sono riscontrati numerosi casi in cui si aveva un titolo diverso tra la parte superiore ed inferiore dell'albero.

E' quindi consigliabile omogeneizzare al meglio la lega effettuando almeno una prefusione. Per esperienza si è osservato che per carature superiore ai 18ct una prefusione risulta più che sufficiente per avere una composizione omogenea, mentre per carature inferiori ai 18 ct bisogna fare attenzione in quanto (soprattutto in 8, 9 e 10ct) potrebbe risultare necessario addirittura eseguire due prefusioni per avere la certezza di un titolo omogeneo. Si raccomanda, se i sistemi fusori lo permettono, di effettuare una miscelazione meccanica del bagno fuso prima di colare attraverso l'utilizzo di una bacchetta di grafite. Altra buona norma per limitare tale problema, se non si dispone dello sgranatore, è quella di colare in staffa e di laminare il lingotto ottenuto. Infatti laminando il lingotto si rompono i cristalli e si "mescolano" tra loro zone a differente composizione, si deve però applicare una percentuale di deformazione elevata. Quindi la lamina ottenuta deve essere tagliata in piccoli pezzi in modo da avere un ulteriore miscelamento dovuto al mescolamento casuale delle varie parti della lamina all'interno del crogiolo.

Nella figura 42 si possono vedere delle segregazioni di rame dovute appunto ad una bassa omogeneità della lega.



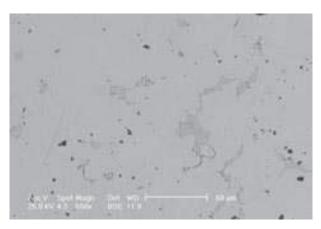


Figura 42 - Segregazioni di rame

Le zone più scure sono fasi ricche in rame. Tali segregazioni sono un grosso problema in quanto fanno variare il colore superficiale dell'oggetto (appariva più scuro). Con una prefusione il problema scompare.

Particolarmente sensibile alla macrosegregazione è l'oro bianco, che presenta temperature di fusione e una contrazione percentuale di volume maggiori rispetto all'oro colorato. E' pratica comune mantenere il più basso possibile la temperatura di colata (per limitare porosità da ritiro e reazione metallo/ gesso), aggiungendo solo 30-50 °C alla temperatura di liquidus. In alcuni casi si è osservato che gli oggetti mostrano un titolo maggiore rispetto al titolo riscontrato sugli alimentatori (ad esempio l'oggetto presentava 586‰, contro i 582‰ di oro riscontrati sugli alimentatori). Questo avviene, in quanto, negli alimentatori si ha avuta la solidificazione della fase ricca in alto fondente (nella fattispecie una fase ricca in nichel) mentre nei pezzi più grandi (e quindi che subiscono un raffreddamento più lento) si ha avuto una concentrazione della fase ricca in oro (l'oro presenta una temperatura di fusione notevolmente più bassa del nichel). Per evitare questo tipo di problema si raccomanda di fare la prefusione e di alzare la temperatura di colata del metallo. Anche l'utilizzo di alimentatori di dimensioni maggiori aiuta a ridurre il problema in quanto il metallo liquido non viene "congelato" istantaneamente ma subisce un gradiente termico minore.

Per quanto riguarda la colata continua si raccomanda di effettuare sempre la prefusione oltre che per cautelarsi dalla segregazione dovuta agli effetti gravitazionali anche per il fatto che tale apparecchiatura è nata solo per colare e non per fondere. Infatti la fusione dovrebbe essere fatta in un dispositivo a parte e quindi utilizzare la colata continua solo per colare in quanto potrebbe essere che se si esegue la fusione nel crogiolo della colata continua del metallo (prelega o oro) venga intrappolato nella luce che c'è tra la barra e la filiera del crogiolo , alterando la composizione media e quindi il titolo finale.

4.2.2 Infragilimento da segregazione

Accade abbastanza frequentemente che nei processi di microfusione, durante la fase dello spegnimento oppure a seguito dell'applicazione di un sforzo anche minimo dopo solidificazione, si abbia la rottura del pezzo. Problemi di frattura possono incorrere quando si usano elementi particolari in soluzione nella lega, ad esempio, concentrazioni troppo alte di silicio. Questo elemento è utilizzato come disossidante e inoltre migliora la colabilità della lega, tuttavia una sua eccessiva presenza in lega provoca principalmente due fenomeni negativi:

- -ingrossamento del grano cristallino, in quanto inibisce l'effetto degli affinatori;
- -piccole segregazioni a bordo grano di una fase basso-fondente (eutettico).

La solubilità del silicio nell'oro e nell'argento allo stato solido è molto bassa (possiamo considerarla nulla). Il silicio forma con l'oro un composto che presenta una temperatura di fusione di 363°C, mentre con l'argento fonde a 830°C. Questa fase basso-fondente risulta essere molto fragile e durante la solidificazione si concentra ai bordi del grano provocando fragilità. La concentrazione di silicio che può essere usata senza causare problemi dipende dai rapporti Au/Ag/Cu e diminuisce con il crescere del contenuto oro+argento come si può vedere in figura 43.

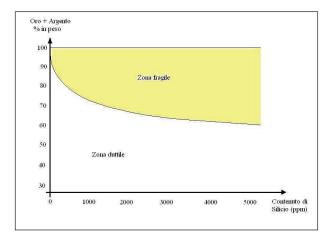
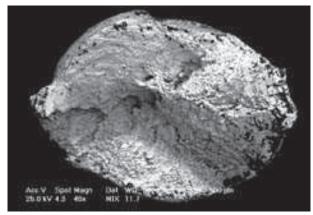


Figura 43 - Concentrazione critica Si in funzione del contenuto Au+Ag

E' interessante notare che è critica la somma delle concentrazioni di oro e di argento; in generale, le leghe ad alta caratura sono più suscettibili all'infragilimento di quelle a caratura più bassa. A parità di caratura, l'oro rosso, ricco in rame, tollera più silicio rispetto all'oro verde ricco in argento. Per un contenuto di metalli nobili (Au+Ag) inferiore al 50% non sono stati trovati limiti reali all'uso di Silicio.

Un esempio di quanto sopra detto si può osservare in figura 44.



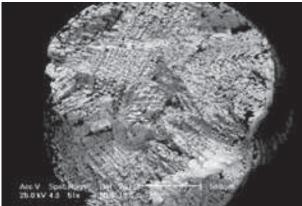


Figura 44 - Frattura fragile

Come si nota si tratta di una frattura intergranulare, che avviene cioè lungo il bordo del grano. Anche in figura 45 si può osservare lo stesso fenomeno:

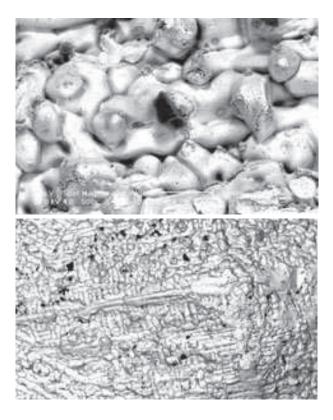


Figura 45 – Frattura fragile in una lega d'argento (Sterling Silver)

In entrambi i casi la rottura avviene per le sole tensioni interne generate durante la solidificazione o il raffreddamento dei getti, in quanto a bordo grano si è formata una pellicola fragile a base di silicio che fa decadere completamente le proprietà meccaniche della lega.

Bisogna ricordare anche che il silicio può causare una struttura a grano grosso, che per questioni intrinseche presenta minori proprietà meccaniche. Va inoltre considerato che nel caso si spengano i cilindri troppo presto i bordi grano potrebbero essere non ancora solidificati (l'eutettico oro-silicio presenta una temperatura di fusione di 363°C) pertanto la rottura avviene a causa di questa fase bassofondente ancora liquida. Tale considerazione risulta valida anche nel caso si abbiano rotture in fase di saldatura a banco, infatti a maggior ragione nella zona termicamente alterata si avrà la possibilità di portare a fusione i bordi dei grani.

Un altro aspetto da considerare è il legame tra la dimensione del grano e l'infragilimento dell'oggetto: maggiori sono le dimensioni del grano, più accentuata è la segregazione a bordo grano.



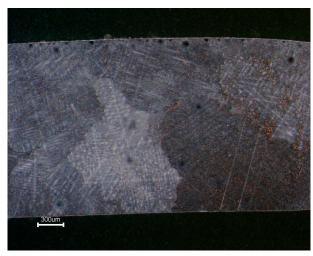


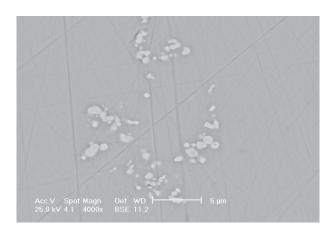
Figura 46 - Rotture fragili

Nel caso in figura una concentrazione molto piccola di un basso-fondente a bordo grano è sufficiente a formare una pellicola fragile ai bordi grano in grado di separare i grani l'uno dall'altro. In una struttura a grano fine, invece, tale effetto sarebbe meno sentito in quanto la superficie di bordo grano è molto più estesa e la quantità di bassofondente è distribuita su una superficie maggiore. Come rimedio si raccomanda di aumentare il tempo tra la colata e lo spegnimento dei cilindri, in modo tale da ridurre al minimo le tensioni interne.

Si raccomanda di utilizzare sempre madreleghe calibrate ed adatte alla caratura ed al tipo di applicazione; ad esempio, a parità di caratura potrebbe essere necessario utilizzare una lega con più o meno silicio a seconda che il processo fusorio avvenga in atmosfera (necessita di più silicio perché una parte si ossida a contatto con l'aria) o con l'utilizzo di macchine chiuse (si deve ridurre il silicio). Non va trascurata l'importanza dell'omogeneità della madrelega di partenza, la quale gioca un ruolo fondamentale; se la composizione presenta delle disomogeneità infatti, è molto probabile che queste permangano anche nel legato che andrà a costituire il manufatto, determinando un sicuro aumento della fragilità.

4.2.3 Punti duri generati da agglomerazione

Molto spesso, se non si ha una grossa esperienza nella produzione di madreleghe, potrebbe succedere che non si riesca a garantire una distribuzione omogenea in lega di quegli elementi aggiunti in piccole percentuali (ad esempio affinatori e disossidanti) che, come precedentemente spiegato, se introdotti in maniera non adatta possono provocare la formazione di punti duri. In figura 47 si ha un esempio di tali punti duri osservati su pezzi di oro giallo 18 ct:



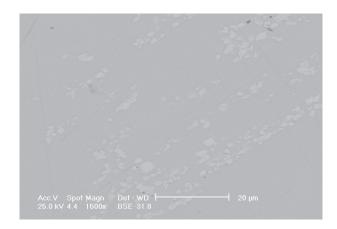
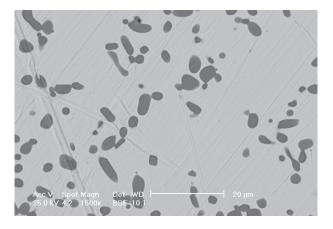


Figura 47 - Punti duri

In questo caso, l'inconveniente è il risultato di aggiunte di piccole quantità di iridio puro che il produttore aggiungeva al metallo in fase di fusione. E' bastato utilizzare con una medrelega già preparata con l'iridio inserito per eliminare il problema. In ogni caso l'iridio non va mai aggiunto come elemento puro ma attraverso una madrelega per garantire maggiore omogeneità. Un altro esempio si può osservare in figura 48.



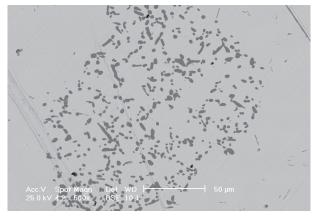
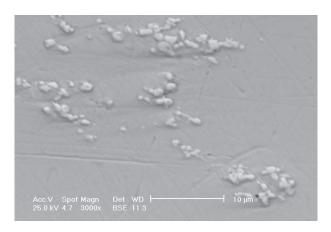


Figura 48 - Siliciuri di Nichel

In queste due figure si può osservare un punto duro in una lega bianca 14ct. Tale punto è formata da una "nuvola" molto fitta di puntini di siliciuri di nichel. La probabile causa questa

volta è dovuta ad un eccessivo riutilizzo degli scarti promuovendo la coalescenza di puntini che dopo la fase di lucidatura, sono resi più evidenti dall'effetto cometa. E' bastato ripartire con materiale completamente fresco per risolvere il problema. Lo stesso problema, relativo al riutilizzo eccessivo degli sfridi, si è osservato in leghe rosse 14ct. In questo caso sono stati osservati dei punti duri di iridio la cui morfologia risulta identica a quella di figura 47. Il problema si risolve come illustrato sopra.

In figura 49 è possibile osservare un caso completamente differente.



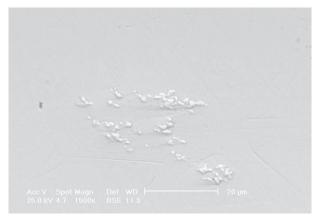


Figura 49 - Punti duri in colata continua

In queste due figure viene riportato un esempio di punti duri osservati su oggetti prodotti in colata continua. La morfologia risulta la medesima della figura 47. Tali puntini sono formati esclusivamente da iridio (come quelli di figura 47). La sola differenza è il processo produttivo utilizzato. In questo caso i puntini sono sorti per una microsegregazione in fase liquida, dovuta alla prolungata permanenza nello stato fuso che un metallo subisce quando si usa in colata continua. In questo modo si favorisce l'aggregazione dell'affinatore del grano per effetto gravitazionale perché l'iridio presenta una densità maggiore di tutti gli altri elementi (22,5 g/cm3) e quindi tende a depositarsi nella parte bassa del crogiolo (sopra il fronte di solidificazione). La soluzione del problema è stata quella di eseguire una prefusione in un crogiolo a parte e sopratutto quella di tenere mescolato meccanicamente (con una bacchetta di grafite) il metallo liquido durante la colata continua in modo da limitare tale segregazione. Ulteriormente si suggerisce di impostare la velocità di traino più alta possibile (compatibilmente con la qualità del prodotto ottenuto) in modo tale da ridurre il tempo di permanenza allo stato liquido del metallo e quindi l'entità di formazione dei punti duri.

Si sono avuti anche dei casi di formazione di punti duri in microfusione utilizzando tutto materiale nuovo. In tal caso il problema può dipendere dalla temperatura di colata. La spiegazione sta nel fatto che un affinatore del grano garantisce un buon risultato solo se è omogeneamente disciolto nel liquido prima della solidificazione: la temperatura del fuso deve essere abbastanza alta e si deve dare il tempo per la sua dissoluzione. Pertanto in tali casi si suggerisce di alzare notevolmente la temperatura di colata durante la prefusione.

A nostro avviso è sempre utile fare una prefusione perché così facendo si favorisce una maggiore omogeneità della lega, eliminando le eventuali cause che inibiscono l'azione dell'affinatore che potrebbe altrimenti non essere distribuito omogeneamente (ad esempio se si concentra in certe zone non se ne ha a sufficienza per tutto il materiale). Questo problema normalmente è più sentito nell'oro bianco. In figura 50 si può osservare una struttura a grano grosso ottenuta dopo la prima fusione di un oro bianco 14 ct.



Figura 50 - Struttura a grano grosso

In questo caso non si ha avuto la comparsa di punti duri ma la struttura del metallo si presenta chiaramente a grano grosso con tutte le conseguenze che ne derivano.

5. Difetti dovuti ad impurezze

5.1 Cenni di teoria

Un'impurezza è un composto od un elemento della stessa natura della lega, la cui presenza nel

materiale non è prevista o desiderata. Essenzialmente le cause di questo problema possono essere di due tipi:

- impurezze derivanti dalla materia prima
- contaminazione nel processo produttivo

In assoluto è più difficile cautelarsi nei confronti delle impurezze derivanti dalle materie prime. È perciò necessario scegliere fornitori affidabili e certificati. In particolar modo sarebbe consigliabile prestare attenzione alla purezza dell'oro che in generale deve essere del 99.99%.

L'affinazione dell'oro disponibile in commercio avviene per via chimica. Con questo metodo, risulta però difficile separare completamente l'oro dagli altri elementi del gruppo dei platinoidi (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt).

Il meccanismo di affinazione è basato sulla soluzione degli elementi in acqua regia (solvente). Il soluto, poi, viene lasciato decantare per permettere la precipitazione dell'oro; ma anche gli altri elementi contenuti nella lega in affinazione (Platinoidi) hanno lo stesso comportamento. Per separarli si sfruttano le differenze fisiche come ad esempio la diversa densità che porta alla stratificazione degli elementi. Si può quindi intervenire fisicamente asportando gli strati indesiderati. In ogni caso si tratta di un processo molto delicato. Esistono comunque metodi di affinazione dell'oro che garantiscono una purezza maggiore. Tali tecnologie sono basate su sistemi elettrolitici che consistono nell'applicazione di una differenza di potenziale ad una cella galvanica all'interno della quale è disciolto l'oro. In questo modo è favorita la separazione dell'oro dagli altri elementi attraverso la semireazione di riduzione riportata di seguito:

 $Au++e- \rightarrow Au \text{ (solido)}$ $Au3++3e- \rightarrow Au \text{ (solido)}$

Tali processi consentono di raggiungere gradi di purezza estremi ma risultano troppo costosi e non sono pertanto applicabili alla pratica industriale. Va notato come anche il processo di produzione rappresenti una fonte di potenziali contaminazioni. Queste possono derivare ad esempio dall'uso di crogioli che, originariamente utilizzati per prodotti di natura diversa, contengono residui indesiderati. Un caso tipico è l'impiego di crogioli contaminati con tracce di affinatore di grano o elementi disossidanti per la produzione di leghe che non ne richiedano la presenza oppure quando si usa uno stesso crogiolo per diversi colori. Bisogna tener presente pure che gli stessi crogioli (seppure non contaminati) possono essere fonte di inquinamento rilasciando elementi nocivi alla lega.

5.2 Come si manifesta il difetto

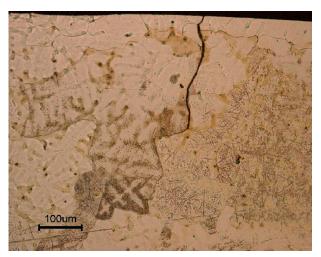
La presenza di impurezze all'interno della lega principalmente può portare a due problemi: -infragilimento del pezzo dovuto alla formazione di una fase fragile a bordo grano;

-formazione di punti duri.

L'infragilimento è causato dalla segregazione a bordo grano di elementi che compromettono il legame tra i grani stessi. La rottura del pezzo si verifica anche per piccoli sforzi applicati ed avviene per frattura fragile lungo i bordi dei grani indeboliti (frattura intergranulare).

L'altro problema porta alla formazione di aggregati caratterizzati da elevata durezza, i cosiddetti punti duri già visti in precedenza. La natura e la morfologia è la medesima di quelli già analizzati, la differenza sta solo nelle cause che portano alla loro formazione. Le impurezze in questo caso possono agire come nucleanti che favoriscono l'aggregazione degli affinatori in alcuni punti del metallo. Può succedere anche che tali impurezze corrispondano agli elementi che funzionano da affinatori, in tal caso si ha una saturazione di affinatore che porta alla formazione di puntini (infatti le composizioni sono calibrate, una maggiore presenza di un elemento porta alla nascita del problema).

5.2.1 Frattura fragile causata da impurezze In figura 51 si può osservare la rottura di un oggetto per frattura fragile.



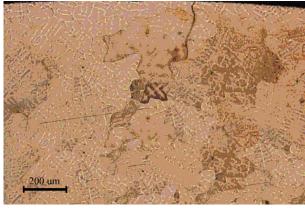


Figura 51 - Frattura intergranulare Si tratta di oro giallo 18 ct. Ma lo stesso problema

si è presentato nella produzione di oro bianco e rosso in diverse carature.

Dalla figura si può notare che la frattura risulta essere intergranulare. Il problema si presentava dopo il riutilizzo di sfridi, mentre con materiale nuovo non si aveva nessuna rottura. In questo caso gli oggetti ottenuti venivano assemblati attraverso la saldatura di leghe a base piombo-stagno e gli scarti dopo saldatura venivano rifusi assieme al materiale nuovo. Pertanto il problema nasceva dal fatto che del piombo finiva in lega. Il piombo è un'impurezza estremamente dannosa nella produzione orafa. La concentrazione critica è legata alla composizione della lega, più elevato è il contenuto di oro e argento in lega minore è la concentrazione di piombo tollerata. L'effetto nocivo del piombo si fa maggiormente sentire dopo un trattamento termico (quale ad esempio una ricottura di solubilizzazione) in quanto il piombo ha la possibilità di diffondere a bordo grano. Nel caso in esame è bastato utilizzare una lega per saldatura esente da piombo per eliminare completamente il problema, in tutte le carature e per tutti i colori.

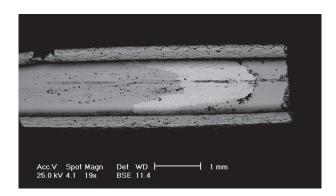




Figura 52 – Inclusione di piombo la cui origine non è ben chiara

Altro esempio è riportato in figura 53, la lega in oggetto in questo caso è lo sterling silver.

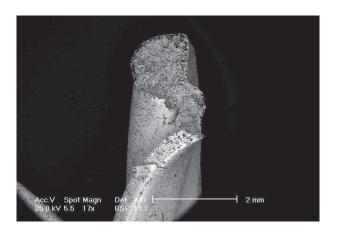


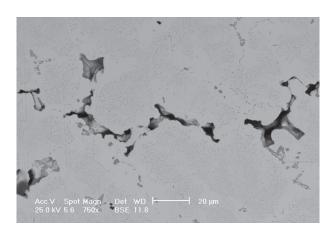


Figura 53 – Rottura fragile

Anche in questo caso si ha una rottura fragile a bordo grano, tuttavia l'elemento infragilente in questo caso è lo zolfo: la rottura avviene per la formazione di solfuri al bordo del grano. Tali solfuri provengono dalla decomposizione del gesso per reazione con il metallo fuso. Il fenomeno della decomposizione verrà descritto nei prossimi capitoli. Un costituente del refrattario risulta essere il gesso (solfato di calcio) che può reagire con metallo fuso dando luogo ad anidride solforosa e solfuri di rame e argento. L'anidride solforosa (è un gas) provoca la formazione di pori sferici, mentre i solfuri generano un componente bassofondente che va a bordo grano compromettendo la resistenza meccanica della lega che si rompe alla minima sollecitazione. Naturalmente la rifusione di metallo con solfuri e magari anche con residuo di refrattario amplifica l'effetto. Normalmente quando si ha rottura fragile per inclusioni di solfuri è possibile osservare anche la presenza di pori da gas (verranno spiegati più avanti). Per evitare il difetto si raccomanda di pulire con cura gli sfridi dal gesso: passare in acido uoridrico anche le materozze e non solo gli oggetti in

quanto una volta che il metallo risulta inquinato con i solfuri bisogna mandare tutto ad affinare e ripartire con materiale nuovo. L'utilizzo di un refrattario di elevate caratteristiche ritarda la comparsa del problema ed è fortemente consigliato di seguire con cura le istruzioni fornite dal produttore di gesso per il ciclo di preparazione di cottura. L'utilizzo di leghe con zinco e silicio aiuta a ridurre il problema, in quanto è stato dimostrato da una nostra ricerca che lo zinco associato al silicio probabilmente con l'aiuto dell'ossigeno genera una barriera protettiva all'interfaccia metallogesso che limita la reazione chimica del metallo fuso con il gesso. In particolare si raccomanda l'utilizzo di leghe a base silicio-zinco soprattutto in basse carature, dove bisogna incrementare notevolmente la temperatura di colata favorendo la decomposizione del gesso.

In figura 54 si ha sempre una rottura per infragilimento da solfuri in una lega d'oro bianco 18 ct.



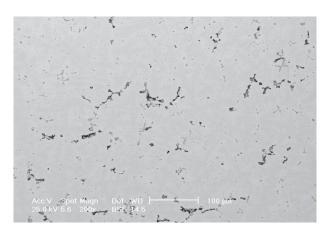


Figura 54 – Superficie con porosità da inclusioni di ossidi dove si ha avuta rottura per infragilimento

In questo caso però è stata utilizzata un'atmosfera fortemente riducente (come gas protettivo si è utilizzato una miscela azoto-idrogeno 95/5) in un sistema fusorio chiuso. Infatti il difetto assomiglia molto ad una inclusione di ossidi come si vede dalla figura 54. Probabilmente in questo caso si ha

avuta la rottura per infragilimento a bordo grano ma assieme si hanno anche delle porosità da gas e di ossidi. Non bisogna mai utilizzare atmosfere fortemente riducenti in sistemi fusori chiusi in quanto si favorisce la reazione tra il metallo fuso ed il gesso, ottenendo più danni che vantaggi. E' meglio utilizzare un gas neutro quali possono essere azoto e argon. In figura 55 viene riportata la sezione di rottura dovuta all'inglobamento di una impurezza a base di tugsteno.

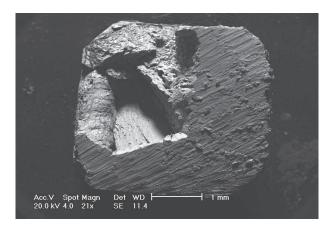




Figura 55 - Rottura per inclusione di tugsteno

In questo caso la rottura non avviene per formazione di una fase debole a bordo grano ma perché si ha una riduzione della sezione resistente. Probabilmente l'inclusione di tale impurezza risulta casuale e dovuta alla non pulizia nel ciclo produttivo.

5.2.2 Punti duri generati da impurezze

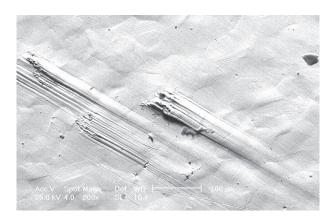
E' pratica usuale riutilizzare sfridi di fusioni precedenti e portare ad affinare il materiale solo dopo un certo numero di cicli di rifusione, allo scopo di ridurre i costi di produzione. Tuttavia, durante i cicli produttivi il materiale raccoglie continuamente impurità dalle più svariate provenienze;

pertanto un eccessivo riutilizzo degli sfridi carica progressivamente la lega di elementi inquinanti. Questo effetto dannoso è ulteriormente amplificato qualora non si effettui una adeguata pulizia degli sfridi, specialmente se questi provengono da fusioni di leghe diverse da quella che si sta utilizzando. Gli elementi inquinanti hanno normalmente temperature di fusione molto più elevate rispetto a quella della lega, pertanto sono presenti nel fuso sotto forma di particelle solide. A causa della bassa solubilità delle impurezze, dovuta alla scarsa capacità del reticolo cristallino della lega base di contenere elementi estranei, si ha formazione di aggregati di particelle dure con una distribuzione molto disomogenea. Queste generano difetti superficiali quali i punti duri (figura 56) che peggiorano notevolmente l'aspetto del pezzo.



Figura 56 - Punti duri da impurezze

L'impatto estetico è ulteriormente aggravato, in quanto se si lucida un oggetto con punti duri, si ottiene il cosiddetto effetto cometa. La lucidatrice infatti, non riesce ad asportare l'aggregato, essendo questo caratterizzato da elevata durezza, e il materiale a valle di questo forma un rilievo che appare visivamente come una cometa (figura 57).



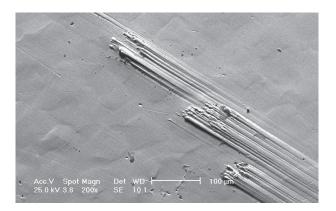
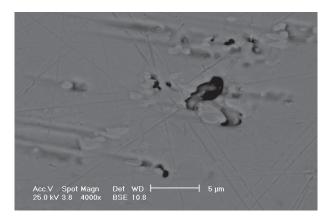


Figura 57 - Effetto cometa

Un esempio di questo tipo potrebbe essere il riutilizzo di sfrido prodotto nella lavorazione alle macchine utensili. Tale materiale è entrato in contatto con parti ferrose nelle lavorazioni per asportazione di truciolo possono rilasciare piccoli frammenti di impurezze di ferro che generano la formazione di aggregati di ferro e iridio con formazione di punti duri come in figura 58.



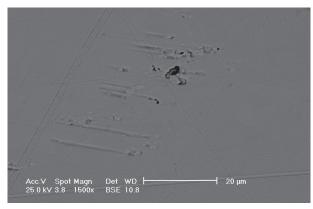


Figura 58 - Punti duri di Fe e Ir

Il ferro ha agito da nucleante favorendo la coalescenza di iridio. Per evitare il problema bisognerebbe evitare sfridi che possono contenere degli elementi inquinanti. Ovviamente quelli provenienti da lavorazioni con asportazione di truciolo presentano una elevata probabilità di contenere inquinanti, per cui sarebbe il caso di scartarli a priori. Un caso molto simile è quello riportato in

figura 59, difetto osservato su una lega rossa 18 ct (colore 5N).

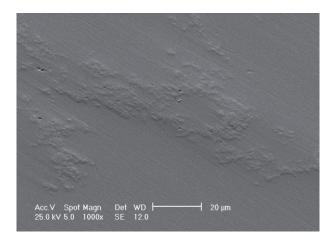
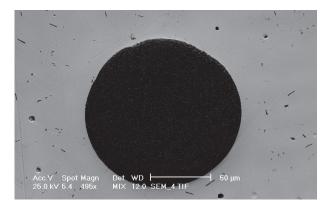


Figura 59 – Punti duri da colata continua

Anche qui si tratta di aggregati di ferro iridio, ottenuti questa volta in colata continua. Il ferro probabilmente proviene dalla barra di attacco della colata continua. Pertanto si raccomanda la massima attenzione in colata continua, in particolare a non togliere l'oro solidificato sulla barra ponendo quest'ultima dentro il bagno di prefusione per far liquefare il metallo prezioso.

Un altro accorgimento importante è quello di utilizzare crogioli differenti in funzione del tipo di lega da fondere. Bisognerebbe evitare di usare lo stesso crogiolo per leghe con silicio e leghe con affinatore, ma comunque sarebbe già importante evitare di condividere lo stesso crogiolo tra ori colorati e oro bianco. Sempre riguardo ai crogioli, si consiglia di porre particolare attenzione alla loro qualità e al materiale di cui essi sono costituiti. Alcuni problemi possono derivare dall'utilizzo di crogioli in carburo di silicio. Questo, durante i processi di fusione, può rilasciare del silicio che, mescolandosi al metallo fuso, inquina la lega favorendo la formazione di punti duri come si può osservare in figura 60.



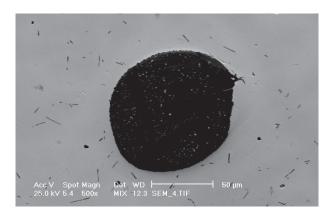
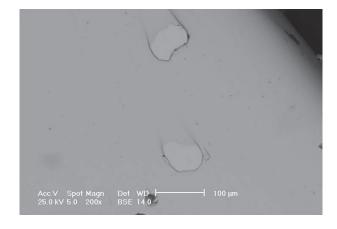
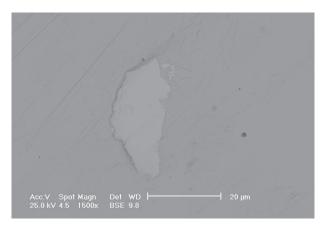


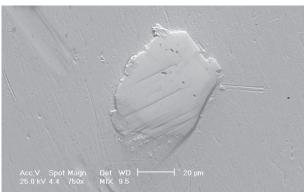
Figura 60 - Punti duri di nichel silicio

Tali punti duri sono stati osservati in una lega d'oro bianco 18 ct e sono composti da siliciuri di nichel. La loro formazione è da attribuire al rilascio di silicio da parte del crogiolo che ha saturato la quantità di silicio tollerabile dalla lega, portando alla formazione di tali agglomerati. E' consigliabile, perciò, utilizzare crogioli che rispondono a requisiti specifici quali bassa reattività chimica con il metallo fuso e resistenza agli shock termici.

I punti duri più frequenti osservati derivano però dalle impurezze presenti nella materia prima, in particolare nell'oro. Un caso molto comune è quello della presenza di osmio nell'oro. Purtroppo anche acquistando oro 999,9‰ non si è sicuri che tale difetto non si presenti come già spiegato. L'osmio agisce come nucleante e porta alla formazione di aggregati con l'affinatore. I punti duri da osmio normalmente presentano una forma ben caratteristica, squadrata e con spigoli vivi. Di seguito si possono osservare vari esempi di tali difetti.







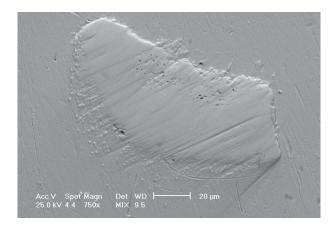
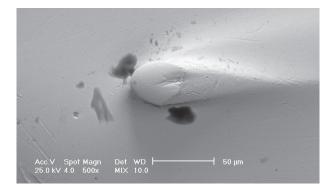


Figura 61 - Punti duri da osmio

Nella figura 61 sono riportati punti duri formati da osmio e irido. Di seguito si riporta un esempio di punto duro formato da osmio iridio e tugsteno, figura 62.



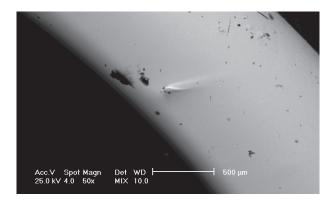
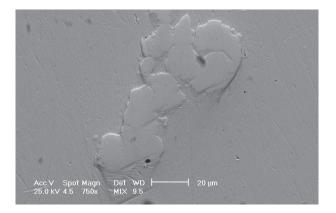


Figura 62 – Punto duro formato da osmio-iridio-tugsteno

Si riportano anche delle foto di punti duri formati da osmio e rutenio. Come si può osservare in figura 61 la morfologia non cambia di molto (figura 63).



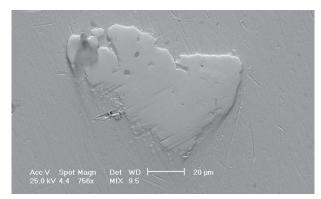
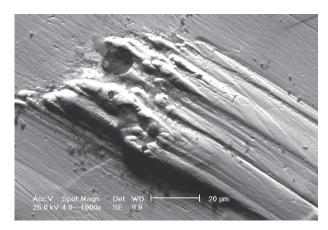


Figura 63 - Punti duri formati da osmio e rutenio

I punti duri da osmio si presentano molto più grandi rispetto a quelli analizzati finora. Per evitare tale problema bisogna esclusivamente acquistare oro proveniente da affinazione elettrolitica. Se si utilizza oro affinato per via chimica c'è sempre la probabilità di avere dell'osmio come inquinante. Una volta osservato il difetto, bisogna mandare tutto ad affinare e ripartire con materiale nuovo. Si vuole prendere in considerazione nel dettaglio una problematica osservata principalmente nell'oro rosso 14 ct. Per riuscire ad affinare un oro rosso 14ct è necessaria l'introduzione di una note-

vole quantità di iridio, in quanto tale elemento risulta solubile nel rame e pertanto buona parte di esso non concorre a produrre l'effetto affinante (l'oro presenta il colore rosso perché si ha una notevole quantità di rame in lega, è il rame che gli conferisce il colore).

Si è riscontrato che vari produttori, dopo aver mandato ad affinare per due o tre volte gli scarti hanno iniziato ad avere grossi problemi di punti duri, con morfologia tipica di punti duri da iridio, ma molto grandi ed evidenti come se la causa fosse la sovrasaturazione di iridio nel sistema. Alcuni esempi vengono riportati nelle figure 64.



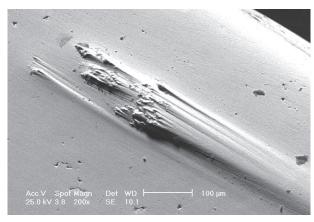


Figura 64 - Punti duri da saturazione di iridio

La causa di tale problema è stata individuata nel fatto che dopo affinazione si ottiene dell'oro con iridio. L'iridio fa parte del gruppo dei platinoidi e come precedentemente spiegato risulta molto difficile da separare dall'oro. Pertanto quando si lega l'oro con la madrelega si ha una quantità di iridio maggiore di quella tollerata dal sistema che pertanto provoca formazione di punti duri. La conferma di ciò è che se lo stesso oro puro viene legato con una madrelega priva di affinatore si ottiene una microstruttura comunque affinata. perché l'affinatore viene introdotto con l'oro. Per evitare il problema si raccomanda in fase di affinazione di adottare particolari accorgimenti. Infatti in presenza di iridio dovrebbero riconoscersi delle particelle grigio/nero che rimangono nell'oro dopo l'operazione di affinazione.

6. Difetti dovuti a gas

6.1 Cenni di teoria

I difetti dovuti a cavità di gas possono avere differenti origini ma sono caratterizzati da una morfologia del tutto simile. In linea generale si presentano come delle cavità circolari diffuse in quasi tutto l'oggetto. Il metallo in fase di solidificazione, infatti, incontra delle sacche di gas (tipicamente sferiche) prendendone dunque la forma. Nella maggior parte dei casi, questo problema si riscontra sulla superficie dei pezzi (lastre o getti) vista la tendenza naturale del gas ad uscire dal materiale. Come suddetto vi possono essere diverse origini per questo tipo di problema. Il difetto può essere causato da gas endogeni, ossia gas che si sviluppano ad elevata temperatura a causa di reazioni chimiche che avvengono all'interno del metallo o all'interfaccia tra lega e refrattario dello stampo. Un'altra possibile origine è la presenza di gas estranei al metallo fuso, che però rimangono intrappolati in fase di produzione, si parla in questo caso di gas esogeni.

6.2 Come si manifesta il difetto

Le cavità da gas si presentano sottoforma di micropori normalmente di forma quasi sferica, ma possono assumere anche forme irregolari a volte molto simili alle cavità da ritiro. Il difetto può essere localizzato in uno spessore definito sotto la superficie del pezzo. In microfusione il difetto può essere originato da reazioni che avvengono all'interfaccia tra getto e stampo. In deformazione plastica invece si possono avere delle cavità per reazione tra i distaccanti della staffa e il metallo fuso oppure delle cavità dovute all'intrappolamento di aria durante l'operazione di colata. Diversamente, se le bolle sono inglobate all'interno del materiale, il difetto si distribuisce uniformemente nel volume.

6.2.1 Cavità di gas da reazione metallo/ gesso

Molto spesso le cavità da gas sono dovute a reazioni che avvengono all'interfaccia tra il metallo colato e il gesso di cui è composto lo stampo. Proprio il fatto che le reazioni avvengono in questa zona, circoscrive la presenza del difetto entro uno strato limitato sotto la superficie.

L'analisi chimica dell'interfaccia tra metallo e gesso rileva la presenza di molti elementi che tramite diverse reazioni, contribuiscono alla formazione del gas. Questi sono:

- Silice (SiO₂) e Calce (CaO), di cui è composto lo stampo;
- Solfato di Calcio o gesso (CaSO₄);
- Carbonio (C), presente a causa della non completa combustione della cera. Si tratta di Carbonio pirolitico proveniente dalla reazione di

combustione della cera in carenza di Ossigeno. Tale reazione, detta pirolisi, si sviluppa secondo la seguente espressione:

$$2C_{17}H_{34} + 25O_2 = 18C + 16CO + 34H_2O$$

- Ossigeno (O₂), potrebbe essere situato nelle porosità dello stampo o proveniente dal metallo liquido;
- Impurità di vario genere.

Le reazioni avvengono durante la fase di colata e derivano soprattutto dalla decomposizione del gesso dello stampo:

- $CaSO_4 \rightarrow CaO + SO_2 \uparrow + O_2 \uparrow$ la decomposizione avviene normalmente a 960°C ma la presenza di SiO2 e C promuovono la reazione anche a temperature più basse;
- CaSO₄ + C \rightarrow CaO + SO₂↑ + CO↑ oppure CaSO₄ + 3C \rightarrow CaS + CO₂↑ + 2CO↑ che avvengono a 900°C;
- $CaSO_4 + C \rightarrow CaS + CO_2 \uparrow$ la reazione è accelerata dalla presenza di SiO_9 .

Come si vede dalle reazioni sopra riportate, la decomposizione del gesso libera gas quali ossigeno, anidride carbonica, monossido di carbonio e anidride solforosa.

Non meno importanti dal punto di vista della formazione di gas, sono le reazioni di ossidazione del carbonio:

$$\begin{array}{c} \bullet \ \mathrm{C} + \mathrm{O_2} \rightarrow \ \mathrm{CO_2} \\ \bullet \ 2\mathrm{C} + \mathrm{O_2} \rightarrow \ 2\mathrm{CO} \\ \end{array}$$

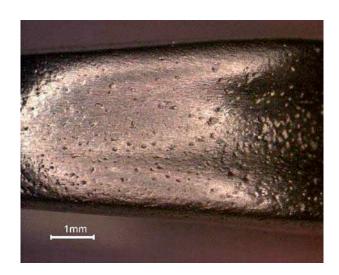
Si sottolinea il fatto che il carbonio, oltre a contribuire direttamente alla formazione di gas (CO_2 e CO), favorisce la decomposizione del gesso. Infatti, come si può vedere dalle espressioni sopra riportate, la temperatura della reazione di decomposizione passa da 960°C a 900°C in presenza di carbonio. E' quindi buona norma tenere la temperatura di colata del metallo e quella dello stampo (cilindri) più basse possibili, compatibilmente con un buon riempimento della forma.

Un altro fattore critico è l'atmosfera di colaggio, che non deve essere riducente (ad esempio una miscela di azoto-idrogeno) perché altrimenti favorisce l'instabilità del rivestimento (come già visto). Anche il vuoto si comporta come atmosfera riducente quindi, se si fa uso di macchine per fusione a vuoto, è opportuno introdurre un gas neutro come l'argon. Un altro fattore che porta all'utilizzo di atmosfera inerte all'interno della camera è il fatto di ridurre la differenza di pressione tra l'interno e l'esterno. In questo modo si riduce il rischio che la depressione della camera

richiami aria dall'esterno aumentando così la percentuale di ossigeno.

Oltre a questo è importante utilizzare un refrattario di elevata qualità e realizzare i cilindri seguendo le opportune procedure in modo da ridurre al più possibile la presenza di residui di carbonio all'interno dello stampo. Normalmente per eseguire una buona preparazione del refrattario è sufficiente seguire le istruzioni fornite dal produttore. Di fondamentale importanza sono innanzitutto la quantità di acqua introdotta e i tempi di mescolamento dato che questi vanno ad in uire sulla resistenza meccanica e sulla qualità della superficie interna dello stampo come già detto. In questo capitolo si forniscono maggiori dettagli al riguardo. La resistenza del refrattario dipende principalmente dalla qualità del legante gesso (solfato di calcio). Durante la preparazione dei cilindri il solfato di calcio assorbe acqua e forma un reticolo di cristalli di gesso che legano i grani refrattari di silicie (quarzo e cristobalite). Se il rivestimento è conservato a lungo in una atmosfera umida può assorbire umidità e perdere la caratteristica di legante. Se invece nell'impasto liquido si esagera con l'acqua gli aghi di gesso non riescono a formare il reticolo cementante, con conseguente riduzione della resistenza dello stampo. Durante il ciclo di calcinazione, tra 190 e 200°C, il gesso perde una parte della sua acqua. La resistenza del legante può essere conservata solo se questo processo avviene lentamente. Per avere delle superfici di elevata qualità si deve evitare la decomposizione del solfato di calcio.

Passando all'aspetto pratico in figura 65 è visibile una evidente porosità da gas dovuta alla reazione tra il metallo ed il gesso.



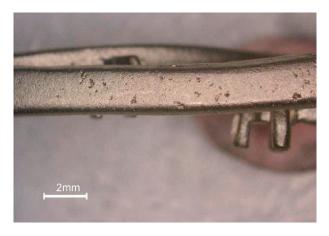


Figura 65 - Porosità da gas

Nel caso in figura si è colato un oro bianco 18ct ad una temperatura molto alta (1080°C), in tal modo favorendo la decomposizione del rivestimento con liberazione di gas che ha provocato il difetto superficiale. In questo caso, data l'ampiezza delle superfici e la massa elevata del pezzo si è suggerito di utilizzare una temperatura di colata più bassa (50°C inferiore) si è migliorata notevolmente la qualità superficiale. Dopo la colata, è pratica comune applicare una sovrapressione al getto in maniera tale da aumentare il riempimento e la replica delle forme. Questa operazione però comporta degli svantaggi, infatti l'incremento di pressione favorisce la reazione del gesso che, come detto sviluppando gas, porta alla formazione di cavità (figure 66). E' pertanto opportuno aggiustare il processo di produzione riuscendo a trovare il giusto compromesso tra riempimento e porosità lavorando sia sulla temperatura di colata che sulla sovrapressione dopo colata. Naturalmente anche la temperatura dei cilindri è un parametro importante. In generale una temperatura dei cilindri di circa 600°C, dovrebbe andare bene, tuttavia va regolata in funzione del metallo colato e degli oggetti: in ogni caso non si devono superare i 700°C perché ciò promuove reazioni di decomposizione e si ottiene una superficie degli oggetti estremamente porosa.



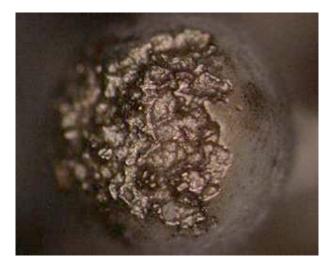
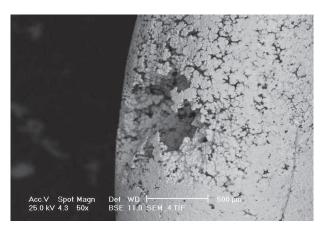


Figura 66 - Porosità da gas in microfusione

Un altro caso è riportato in figura 67.



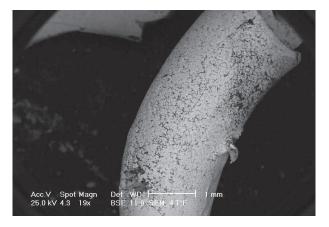


Figura 67 – Porosità da gas imputabile alla qualità del refrattario

Nell'esempio di figura si è colata una lega 14ct rossa con temperatura di colata di 1000°C e temperatura dei cilindri a 600°C che sono dei parametri adeguati. Il difetto è da attribuire alla perdita delle proprietà del rivestimento. Infatti si è utilizzato un rivestimento vecchio che era rimasto per lungo tempo aperto e inutilizzato. Utilizzando gli stessi parametri ma con del rivestimento nuovo si ha avuta la scomparsa del difetto.

6.2.2 Cavità di gas inglobato

A differenza dei casi finora analizzati, si possono presentare cavità da gas puntiformi omogeneamente distribuite nell'intera massa dell'oggetto ad indicare che il problema non è da associare alla decomposizione del refrattario durante la fase di colata. In questo caso infatti l'origine del gas è esogena e quindi interessa il pezzo nella sua interezza.

Vi sono diversi meccanismi che prevedono l'ingresso di gas esogeno all'interno del fuso.

Una prima possibilità è che questo sia introdotto con la fusione di rottami e sfridi assieme alla lega d'oro. Gli ossidi di rame o di argento presenti nella lega madre possono reagire con i solfuri derivati dalla decomposizione dei possibili residui di refrattario (solfato di calcio) presenti nel rottame, formando anidride solforosa gassosa, che va a generare la tipica porosità da gas. Si possono trovare anche bolle di ossigeno dovute alla sola dissociazione degli ossidi. Oggetti con questo tipo di porosità all'apparenza sembrano avere superficie liscia con la presenza di pochi piccoli pori di forma sferica, tuttavia dopo l'asportazione dello strato superficiale, il numero di pori aperti e visibili può aumentare e una maggiore lucidatura non risolve il problema.

Riveste un ruolo molto importante anche la dinamica della colata, ossia il modo in cui il metallo fuso viene versato nello stampo. Un'eccessiva turbolenza infatti, può inglobare bolle di gas all'interno della lega le quali, oltre a problemi estetici, possono ridurre le proprietà meccaniche dell'oggetto. Anche durante la colata in staffa, la turbolenza nel liquido fuso può inglobare aria che provoca la formazione di cavità. Queste creano problemi nelle successive fasi di lavorazione; ad esempio durante la laminazione si possono formare cricche interne che pregiudicano la qualità dell'oggetto (figure 68).

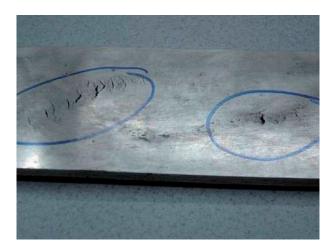




Figura 68 - Cricche interne da laminazione

Un'indicazione utile da seguire durante la colata consiste nel versare il metallo fuso dal lato corto della staffa, come esemplificato nella figura 69. Questo permette di ridurre la turbolenza e di inglobare meno gas. Inoltre, è bene tener presente che fondere a mano quantitativi consistenti di materiale per ciclo di colata comporta un aumento dei difetti perché cresce la probabilità di trattenere bolle d'aria.

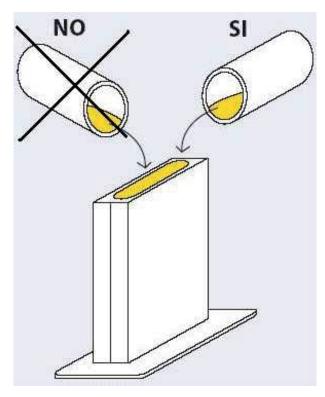


Figura 69 – Esempio di corretto posizionamento di colata

In figura 70 si riporta il caso di gas inglobato con colata a mano.

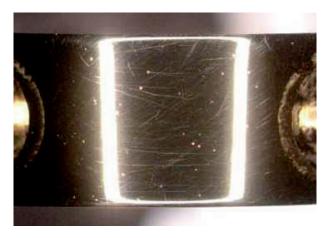




Figura 70 - Gas inglobato in colata a mano

La scarsa purezza del metallo prezioso (in termini di presenza di sostanze contaminanti raccolte durante il ciclo di produzione) può inoltre aggravare il problema dell'inclusione di gas: una maggiore quantità di ossigeno infatti peggiora i risultati della colata in staffa.

Utilizzando la colata continua invece, l'ossigeno ha tutto il tempo di degasare grazie al particolare meccanismo di solidificazione della barra. Infatti il metallo viene colato dal basso in maniera molto lenta (rimane liquido per molto tempo) così le bolle di gas si concentrano nella parte terminale della colata (o addirittura vengono espulse) consentendo di ottenere risultati accettabili anche con leghe più ricce di ossigeno. La colata continua non consente comunque di evitare completamente il problema, com'è visibile nella figura 71. Anche con questo processo infatti, l'eccessivo riciclo di materiale di scarto peggiora la qualità complessiva della fusione.



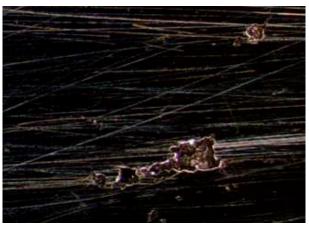


Figura 71 - Bolle da gas su oggetti da colata continua.

Particolare attenzione deve essere prestata all'atmosfera di colata, in quanto la presenza di ossigeno nel metallo fuso provoca la formazione di CO a seguito della reazione con il carbonio della filiera. Ne segue una porosità di forma tondeggiante e distribuita in maniera casuale su tutta la superficie del pezzo come visibile nella figura 71 a destra. A questo punto è opportuno parlare anche del blistering che si manifesta con la formazione e crescita di rigonfiamenti in oggetti deformati plasticamente e sottoposti a trattamento termico. In figura 72 se ne riporta un esempio.





Figura 72 - Blistering dopo ricottura

Il difetto compare solo dopo la ricottura del pezzo. La figura 73 rappresenta un altro esempio di come ossidi o sostanze inquinanti possano dare rigonfiamento in fase di ricottura. E' illustrato il caso di un "aggraffato" utilizzato per la produzione di catene vuote. E' una tecnologia che consiste nell'avvolgere una lastra d'oro attorno ad un supporto che può essere di rame, tombak o ferro. Il supporto deve essere perfettamente pulito perché eventuali impurità sulla superficie possono decomporre durante la ricottura e formare bolle che staccano la lastra all'anima interna (come si può notare nella figura sinistra). E' così compromessa la resistenza meccanica del filo che durante la fase di laminazione arriva a rottura. Lo stesso fenomeno si ha nel caso in cui vi sia solo aria intrappolata. Anche in questo caso ad alte temperature, il gas espandendosi, gonfia anche il materiale, deformandolo.



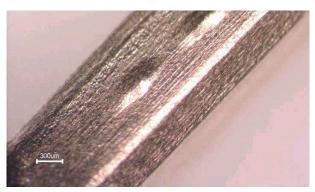


Figura 73 – Rigonfiamenti dopo ricottura causati da ossidi e/o sostanze inquinanti all'interfaccia tra i due metalli

L'aria intrappolata può creare veri problemi anche quando è presente all'interno delle cere utilizzate in microfusione. Nella figura 74, in alto a sinistra, si può osservare una bolla d'aria intrappolata nella cera e come poi il difetto viene trasferito sull'oggetto (figura 74 in alto a destra). Eventuali bolle intrappolate nella cera, durante la fase di vuoto della preparazione del gesso, esplodono producendo una sorta di crateri sulle cere stesse che poi si copiano sullo stampo (il refrattario le riempie e conseguentemente sulla superficie da riprodurre sono in rilievo), trasferendosi di alla fine sull'oggetto microfuso sottoforma di grosse cavità. Lo stato di degassaggio della cera pertanto, deve essere controllato attentamente e con regolarità.

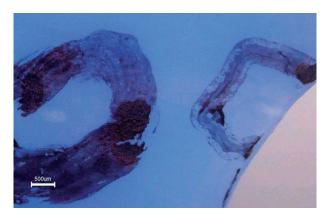
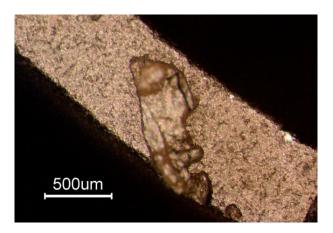




Figura 74 – Bolle di gas nella cera, che producono difetti come quello illustrato a destra.



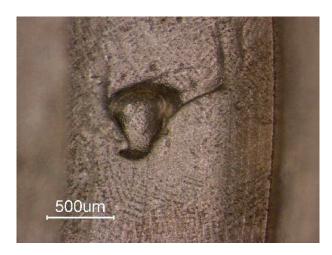


Figura 75 - Altri esempi di difetti causati da bolle nelle cere

7. Difetti dovuti a corrosione

7.1 Cenni di teoria

Una proprietà chimica che ha una notevole rilevanza in molte applicazioni, è la resistenza dei materiali metallici alla corrosione. La quasi totalità dei metalli e delle leghe nelle abituali condizioni ambientali non è infatti in equilibrio dal punto di vista chimico-fisico, ma tendono a trasformarsi nei loro composti, i più comuni dei quali sono ossidi, idrossidi, carbonati, solfati, cloruri, ecc. E' interessante il comportamento dei materiali metallici a contatto con soluzioni più o meno concentrate di acidi inorganici od organici, in soluzioni saline od alcaline, in altri metalli fusi, ecc. Ugualmente importante può essere il contatto con gas o vapori diversi a temperatura ambiente o a temperatura superiore.

Il fenomeno varia al progredire dell'attacco corrosivo, ed è quindi funzione del tempo. Poiché la corrosione normalmente comporta perdita di materiale reagito dalla superficie del metallo, si ha come conseguenza una perdita di peso. Talvolta, anziché una diminuzione, si ha invece un aumento di peso come avviene ad esempio per l'alluminio; in questo caso si forma uno strato di ossidi ben aderente che protegge il metallo sottostante: l'ossigeno atmosferico fissato in tale stato produce un aumento di peso.

I fenomeni di corrosione sono in uenzati da numerosissimi fattori quali lo stato del metallo (superficie scabra, lucidata oppure ossidata, incrudimenti locali, disuniformità di trattamento termico ecc.), la temperatura, le condizioni nelle quali avviene la corrosione (movimento del uido in cui è immerso il metallo, eventuali impurezze in esso contenute o variazioni di composizione), il contatto con altri metalli.

La corrosione è, in sintesi, un fenomeno che riguarda l'interazione chimica dei materiali con l'ambiente che li circonda. Sono difficilmente soggetti a corrosione alcuni metalli quali Platino, Oro e Argento, che proprio per questo motivo, vengono definiti nobili. Le leghe auree pertanto subiscono il fenomeno corrosivo maggiormente per la parte di materiale non nobile. Di conseguenza saranno più esposte a questo fenomeno le leghe in bassa caratura. Sono essenzialmente due i meccanismi secondo cui la corrosione dei materiali metalli procede nei casi pratici: quello della corrosione chimica e quello della corrosione elettro-chimica. Nel caso della corrosione chimica, si verifica una reazione eterogenea tra una fase solida (il materiale metallico) e almeno un'altra fase che può essere liquida o gassosa, col risultato che si ha l'attacco al metallo con formazione di uno strato più o meno aderente di prodotti di corrosione sulla superficie, strato che separa il metallo stesso dall'ambiente. La corrosione è generalmente accompagnata da passaggio di corrente elettrica; si parla in questo caso di corrosione elettro-chimica, dove i fenomeni corrosivi sono caratterizzati dallo sviluppo di zone anodiche e catodiche.

Queste zone, che a seconda dei casi possono avere dimensioni microscopiche o macroscopiche, si scambiano corrente dando luogo a due reazioni elettroniche:

• le reazioni anodiche sono sempre reazioni di ossidazione che tendono a distruggere il metallo dell'anodo che si dissolve come ioni (si trasforma in atomi del metallo carichi positivamente rendendo contemporaneamente disponibili gli elettroni), oppure ritorna allo stato combinato di ossido.

$$Me \longrightarrow Me^{z+} + ze^{-}$$

• le reazioni catodiche sono invece reazioni di riduzione di alcuni ioni (o di alcune molecole neutre presenti nell'ambiente) con corrispondente consumo di elettroni prodotti dalla reazione anodica. Quelle più frequenti sono:

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \longrightarrow 2OH^-$$
 riduzione dell'Ossigeno

$$2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$$
 sviluppo di idrogeno

La presenza di inclusioni, imperfezioni superficiali e, in generale, eterogeneità del metallo, genera zone anodiche e catodiche favorendo il processo di corrosione elettro-chimica. Queste eterogeneità generano effetto pila, ossia il passaggio di corrente tra anodo e catodo con attacco delle zone anodiche.

7.2 Come si manifesta il difetto

L'attacco corrosivo può essere diffuso o localizzato e si manifesta attraverso ossidazioni che interessano ampie superfici del pezzo, oppure causando infragilimento in corrispondenza di zone critiche. Il fenomeno di corrosione è osservabile anche come variazione cromatica a causa di modifiche nella composizione superficiale della lega.

7.2.1 Ossidazione

Alcuni metalli (Oro, Platino, ecc) sono esenti da questo effetto e per tale motivo vengono chiamati nobili. Nella totalità dei casi però, essi si trovano in lega con altri elementi soggetti ad ossidazione, quindi questo problema è di comune riscontro anche nelle leghe auree.

Quando un metallo puro (non nobile) viene a contatto con l'Ossigeno, si verifica un certo assorbimento da parte di tutta la superficie esposta, con modificazione delle proprietà fisiche del metallo. L'ossidazione può avvenire mediante due processi: diffusione di atomi di metallo attraverso lo strato di ossido sotto forma di cationi (diffusione cationica), oppure diffusione dell'Ossigeno come ione O- - (diffusione anionica). Nei metalli non nobili lo strato di ossidazione, se compatto e aderente, può avere un effetto benefico in quanto protegge il materiale da ulteriore corrosione (passivazione); ma parlando di leghe auree, dove l'aspetto estetico è quello fondamentale, l'ossidazione è comunque un difetto da evitare.

Il meccanismo di ossidazione delle leghe è molto più complesso rispetto a quello dei metalli puri. Possono infatti presentarsi diverse situazioni:

- Ossidazione selettiva: un solo componente della lega reagisce con l'Ossigeno;
- Ossidazione polifasica: più componenti della lega si ossidano dando origine a composti insolubili e quindi ad una scaglia polifasica;
- Più componenti della lega si ossidano dando luogo ad una soluzione solida che dipende dalla composizione della lega; questo ultimo caso è meno comune nelle leghe auree.

Poiché le alte temperature favoriscono la reazione di ossidazione (di qualunque tipo essa sia), la formazione di ossidi è accelerata durante le fasi di fusione, colata e ricottura.

Nel primo caso si ha formazione di ossidi che poi normalmente si distribuiscono nell'intera massa dell'oggetto microfuso non creando grossi problemi a parte un possibile infragilimento dovuto a segregazione di questi al bordo grano.

Durante la colata il fenomeno di ossidazione avviene sulla superficie di separazione metallo/gesso.



Figura 76 - Ossidazione superficiale in un oggetto microfuso

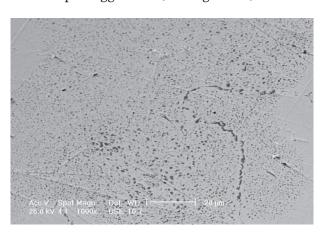
Il metallo caldo reagisce con l'ossigeno perdendo la lucentezza superficiale. L'ossigeno necessario alla reazione proviene dall'aria, se non si lavora in atmosfera controllata, oppure potrebbe essere intrappolato dentro al rivestimento. Si ricorda che anche i metalli assorbono dell'ossigeno che possono poi rilasciare in fase di solidificazione. E' consigliabile quindi, utilizzare macchine fonditrici a camera stagna con atmosfera inerte cercando, dopo colata, di mantenere il metallo all'interno della macchina il più a lungo possibile sempre tenendo in considerazione problemi quali segregazioni, crescita del grano, disomogeneità della composizione ecc. Inoltre un gesso con un'idonea permeabilità garantisce una migliore evacuazione dell'aria presente all'interno del cilindro quando viene fatto il vuoto qualche secondo prima di colare. Anche lavorando in atmosfera protetta una piccola quantità di ossigeno è comunque presente all'interno del bagno o intrappolato nel rivestimento; per questo motivo vengono utilizzati elementi disossidanti quali lo zinco e il silicio che, essendo caratterizzati da maggiore reattività con l'ossigeno, evitano l'ossidazione del metallo e consentono così di ottenere getti più lucidi. Come già detto, in realtà il silicio e lo zinco svolgono un ruolo sinergico nella protezione del metallo formando una barriera che limita la formazione dei difetti. Lo svantaggio però è che l'ossido di zinco non può essere eliminato fondendo in condizioni riducenti perché resta in soluzione nella lega e non galleggia. Dopo solidificazione tende ad aggregarsi al bordo grano formando inclusioni filamentose e porosità simili a "zampa di gallina". Anche in questo caso per limitare il problema si consiglia di utilizzare sistemi fusori chiusi (o in alternativa proteggere il crogiolo aperto con un usso di argon o di azoto, anche se normalmente tale accorgimento risulta insufficiente). Per eliminare le inclusioni da ossido di zinco sicuramente il miglior rimedio è quello di limitare (o addiritura eliminare) la rifusione di rottame inquinato. Riguardo al processo di ricottura, per evitare l'ossidazione si può eseguire tutto il trattamento

termico in atmosfera inerte, in modo da evitare il contatto diretto dell'ossigeno con la superficie del pezzo. Un altro metodo è quello di utilizzare sali fusi all'interno dei quali vengono inseriti i pezzi durante il trattamento. Il sottile velo di sale presente sull'oro quando emerge dal bagno fuso, impedisce l'ossidazione anche nella fase di raffreddamento (risulta poi facilmente rimovibile).

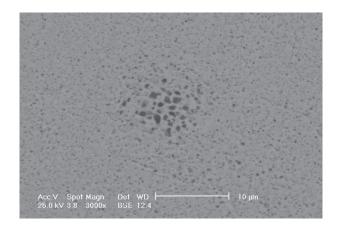
In sostituzione dei sali fusi infine, si possono usare dei contenitori con della polvere di grafite, in cui vengono immersi i pezzi, in modo tale che nella ricottura si ossida la grafite al posto del pezzo. Altro sistema è l'utilizzo di fogli di Rame, soprattutto nella ricottura dei fili. In questo ultimo caso i fili vengono avvolti nel Rame in modo da limitare l'af usso di ossigeno; è un metodo meno efficace dei precedenti ma che comunque garantisce un minimo di protezione.

L'ossidazione risulta molto comune quando si saldano dei particolari con il cannello. Per portare a fusione il materiale di apporto si va a scaldare fino ad alta temperatura anche gli oggetti che reagisco con l'ossigeno presente nell'aria e quindi si ha lo stesso fenomeno spiegato sopra. In questo caso si consiglia di utilizzare dell'acido borico (da esempio bagnare i pezzi e quindi ricoprirli di acido borico) in modo che al riscaldamento l'acido borico si sciolga e formi uno strato protettivo uniforme su tutto il pezzo.

Nel caso dello sterling silver si ha il problema del firestain, si tratta di un'ossidazione che avviene ad alta temperatura con formazione di ossidi di rame stabili. Tali ossidi in superficie appaiono come delle macchie scure che a maggiori ingrandimenti assomigliano a delle nuvole composte da una fine punteggiatura (vedi figura 77).







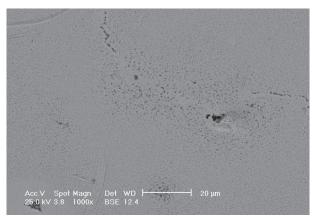


Figura 77 - Fire stain su un oggetto d'argento, visto ad occhio nudo ed a vari ingrandimenti

Si tratta appunto di un'ossidazione che avviene ad alta temperatura; a bassa temperatura non si ha tale problema. Per limitare l'insorgenza di tali macchie si deve cercare di limitare il contatto del metallo caldo con l'ossigeno. Per questo utilizzando macchine fusorie chiuse e riducendo al minimo il tempo prima dello spegnimento del cilindro in acqua, si riduce l'insorgere del fenomeno. Ulteriormente si può lasciare il cilindro in camera ad atmosfera protetta (e non all'aria) prima dello spegnimento. Anche in questo caso l'utilizzo di leghe a base di zinco e silicio aiutano a proteggere la superficie dal manifestarsi di tale problema.

Per proteggere il bagno dalla formazione di ossidi, frequentemente si ricorre all'utilizzo di fondenti (come già spiegato precedentemente). In particolare risulta importante avere della scoria liquida che eviti il contatto del bagno liquido con l'ossigeno. Particolari accorgimenti devono essere presi in considerazione anche durante i trattamenti termici ad alta temperatura (principalmente ricotture). E' di fondamentale importanza utilizzare un'atmosfera prottetiva (composta da azoto oppure argon e in questo caso si consiglia di utilizzare una miscela azoto-idrogeno essendo molto più reattiva nei confronti dell'ossigeno). L'utilizzo di fondenti quali acido borico e borace forma una scoria viscosa che deve essere tolta prima della colata. Se il crogiolo non viene pulito sufficientemente bene parte della scoria potrebbe

essere versata nel cilindro assieme al metallo fuso formando inclusioni nei getti (figura 78).

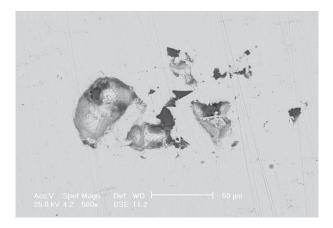


Figura 78 – Residui di acido borico e ossidi, inglobati sulla superficie

E' abbastanza comune che questo fenomeno interessi solo l'alimentatore primario per cui non crea problemi, ma a volte, soprattutto quando la colata è veloce, la scoria liquida viene trascinata oltre gli alimentatori causando difetti sulla superficie del pezzo. Tale tipo di difetto è molto più sentito dove si utilizzano macchine fusorie per iniezione centrifuga.

Per evitare tale tipo di problema bisognerebbe eseguire la fusione sotto atmosfera protettiva, in modo da non dover aggiungere fondenti. Se non si ha la possibilità di utilizzare un'atmosfera protettiva si raccomanda di limitare l'uso di fondente (e anche di metallo riciclato che non dovrebbe mai essere maggiore del 30% della quantità totale) e dopo ogni colata di eliminare completamente il fondente o la scoria che rimangono sul crogiolo quando questa è pastosa.

7.2.2 Infragilimento da corrosione

La corrosione, specialmente se associata a stati tensionali derivanti da ritiro in fase di solidificazione o causati da fasi successive di lavorazioni meccaniche (lucidatura, incastonatura, messa a misura, ecc.), può causare infragilimento. In questi casi la corrosione si localizza nelle zone di maggior tensione portando, nei casi peggiori,

anche a rottura (figura 79), si parla in questo caso di corrosione sottosforzo.

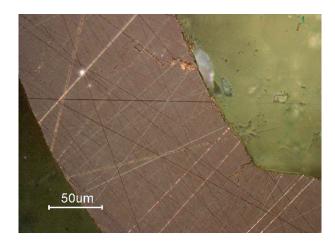


Figura 79 - Cricche da stress - corrosion

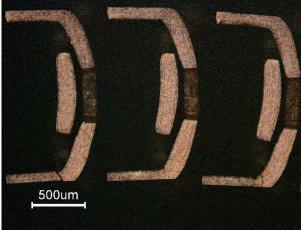
Per quanto concerne le leghe auree, dove la parte interessata a fenomeni corrosivi è limitata alla componente non nobile in lega, si ha che una composizione non omogenea (caratterizzata da zone a diversa concentrazione di oro) accentua la corrosione della fase meno nobile.

La corrosione sotto sforzo inoltre si presenta soprattutto nei gioielli in oro a bassa caratura (dal 10 ct in giù) data l'elevata presenza di metalli non nobili. Ricerche sulle leghe ternarie oro-argentorame hanno dimostrato che queste risultano immuni alla corrosione da sforzo se la percentuale d'oro nella lega supera il 40% in peso.

Il problema della rottura da corrosione da sforzo nei gioielli crea grossi problemi in quanto può aver luogo non solo durante la fabbricazione ma anche quando i pezzi sono in magazzino oppure quando il dettagliante li ha già venduti al cliente. La rottura avviene soltanto quando lo sforzo e la corrosione sono combinati, sia sottoponendo la lega d'oro ad uno sforzo mentre si trova in un ambiente corrosivo o, come spesso si verifica, esponendola in tale ambiente quando è già in uno stato tensionato. In assenza di tensioni, l'articolo d'oro non sarebbe danneggiato da quel particolare ambiente.

In particolare, vi sono alcune sostanze chimiche che accelerano la corrosione in presenza di sforzo; le più comuni sono l'acido nitrico, l'acido idrocloridrico, l'acqua regia, il bicromato di potassio, il triossido di cromo e il cloruro di ferro. Il fatto che alcuni di questi reagenti siano comunemente utilizzati nei bagni di decapaggio provoca l'accentuarsi del problema anche durante il processo produttivo.

In figura 80 e 81 si riporta l'esempio di rottura di una catena dove nella fase di ricottura non sono state eliminate completamente le tensioni da deformazione plastica.



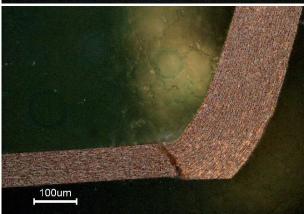
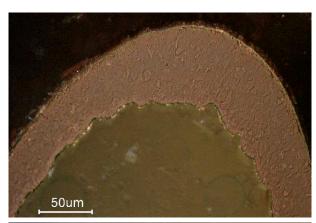


Figura 80 - Rotture per corrosione sottosforzo



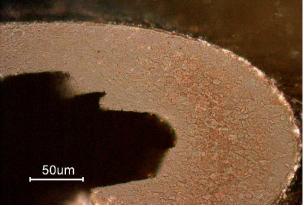


Figura 81 – Esempio di corrosione sottosforzo in catene dopo processo di vuotatura. In fase di ricottura non erano state eliminate completamente le tensioni derivanti dalla deformazione plastica

7.2.3 Variazione di composizione da corrosione

La corrosione, oltre a provocare infragilimento e ossidazione superficiale, può essere causa di una variazione della composizione della superficie rispetto al resto del materiale. Il fenomeno si accentua nelle fasi di decapaggio o imbianchimento, poiché si fa uso di soluzioni aggressive come acido solforico, solfato di alluminio, acido cloridrico, acido nitrico e acido uoridrico. Questo processo consiste nell'eliminare dalla superficie del pezzo residui di fondenti adoperati nella saldatura e strati di ossidi formatisi a causa del riscaldamento del pezzo.

Man mano che la soluzione scioglie gli ossidi, questa perde la sua reattività e diventa torbida, colorandosi in maniera diversa a seconda del componente disciolto. La reattività della soluzione è funzione della temperatura ed è massima a 60-70°C. Anche il tempo gioca un ruolo importante: un'eccessiva immersione dell'oggetto nella soluzione decapante può portare a modifiche del colore superficiale della lega dovuto alla perdita o all'acquisto di componenti nella soluzione. Un caso in cui si ha avuta perdita dei componenti meno nobili è illustrato in figura 82:



Figura 82 - Corrosione selettiva alla superficie di un anello

Tale oggetto è stato ottenuto in microfusione e successivamente trattato in acido solforico per eliminare l'ossidazione presente dopo colata. Dopo passaggio in acido però il colore dell'oggetto risultava più chiaro di quanto ci si aspettava. Si tratta di un oggetto in oro giallo 18ct (colore 3N). Scartata l'ipotesi che si trattasse di una evaporazione di zinco (in tal caso il colore doveva risultare più scuro) si è osservato una differente composizione tra la superficie tal quale e dopo carteggiatura (dove sono stati tolti 0,1 mm). In particolare la superficie tal quale risultava più ricca di oro e argento.

Per risolvere il problema si è consigliato di utiliz-

zare alcuni accorgimenti nel processo di fusione. Se la fusione viene effettuata con il cannello si è consigliato di proteggere il bagno fuso con della scoria liquida che, produce uno strato di materiale vetroso sopra il bagno fuso, proteggendolo da un'eventuale reazione con l'ossigeno (tale fenomeno è spiegato nei particolari nel capitolo riguardante le inclusioni da ossidi). Infatti il problema si presenta perché in fase di fusione dell'ossigeno è finito a contatto con il bagno fuso, formando degli ossidi di rame e di zinco, che sono gli elementi più elettronegativi in lega. Durante il successivo passaggio in acido sono stati strippati selettivamente solo gli ossidi di rame e zinco, lasciando una superficie ricca di oro e argento. Si ipotizza che questo strato con composizione alterata (e quindi che presenta un colore diverso) sia dell'ordine dei 50-60 μm.

In figura 83 invece è riportato il caso di un oggetto che ha variato il colore per "l'acquisto" di ioni di rame.





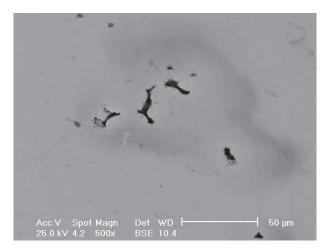
Figura 83 – Deposizione inversa, causata da una soluzione di decapaggio esausta

Si tratta di un oggetto di oro giallo 14 ct che dovrebbe presentare il tipico colore conosciuto come giallo "Hamilton". Dopo fusione è passato in una soluzione a base di acido uoridrico per l'eliminazione dei residui di refrattario. Una volta tolto da questa soluzione l'oggetto era diventato rosso. La soluzione era vecchia e satura di ioni di rame e si è creato un microsistema galvanico di

deposizione inversa con conseguente deposizione di rame uniformemente su tutta la superficie. Non si riesce ad eliminare tale strato attraverso un altro trattamento galvanico, l'unico sistema è stato quello di una pulitura meccanica. Anche l'argento, se presente in soluzione, si comporta alla stessa maniera, causando un generale schiarimento della superficie. Per evitare tale inconveniente bisogna rinfrescare molto spesso le soluzioni decapanti (e non dimenticare gli alberini nella soluzione, come già successo).

Un altro caso si può presentare con l'oro bianco, a base nichel, a causa della perdita di nichel durante il decapaggio e il conseguente arricchimento di oro in superficie. La conseguenza è un ingiallimento del pezzo.

Un ulteriore problema, che può insorgere dopo il decapaggio e che spesso si rende evidente anche dopo mesi dalla realizzazione del pezzo, può essere la comparsa di macchie in conseguenza della fuoriuscita di acido da eventuali porosità superficiali presenti sul pezzo.



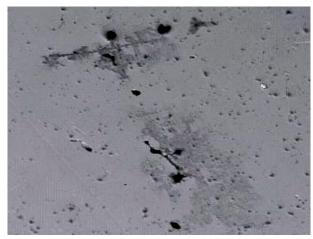


Figura 84 - Macchie causate da acido residuo fuoriuscito dai pori

Come si può vedere nella figura 84, a causa della non completa eliminazione dell'acido dopo decapaggio, si formano della macchie (o degli aloni) che compromettono la qualità superficiale

dell'oggetto. Tale acido rimane intrappolato per effetto capillare nelle porosità e fuoriesce in un secondo momento (magari per effetto del calore generato da una lampada nella vetrina di un negozio) provocando una corrosione localizzata nelle vicinanze di tali pori. Nel caso di figura si è riscontrata anche la presenza di zolfo probabilmente derivante dall'acido solforico.

Per poter risolvere questo tipo di problema si è suggerito di immergere gli oggetti in una soluzione di bicarbonato di sodio (al 20%) in acqua a 60°C, per un breve periodo, per poi lavarli in ultrasuoni in una soluzione di acqua e 10% di ammoniaca, al fine di neutralizzare il più possibile gli acidi assorbiti nelle porosità del metallo fuso.

8. Conclusioni

8.1 Tale lavoro risulta essere una prima elaborazione del sistema di assistenza adottato da ProGold in questi ultimi 2 anni. E-Support, questo è il suo nome, permette di essere ancora più vicini alle esigenza del cliente attraverso l'utilizzo di internet ed inoltre garantisce l'acquisizione di conoscenza nei processi produttivi orafi. Il nostro intento, infatti, è di creare un database da cui attingere conoscenza per essere in grado di risolvere (o comunque dare delle risposte approfondite) a qualsiasi tipo di problematica che può capitare. Infatti stiamo realizzando una serie di articoli tecnici denominati knowledge base che permettono di trasferire esperienza e conoscenza a tutti in modo tale da eliminare/ridurre tutte le problematiche più comuni. Assistenza dopo assistenza implementeremo tale lavoro in modo tale da riuscire a creare una casistica per ogni difetto che possa aiutare chiunque a trovare la strada per la soluzione del problema.

Questo nuovo sistema di assistenza ci permette di fare anche un'analisi statistica sul tipo di difetti in funzione di più variabili, così che possiamo capire addirittura se bisogna mettere in progettazione una madrelega appositamente per un'esigenza particolare.

Bibliografia

- Difetti di colaggio e di altro tipo Manuale per il produttore di gioielleria in oro. Dieter Ott – World Gold Council, Industrial Division. Edizione Italiana: 2002
- Physical metallurgy principles Third edition. Robert E. Reed-Hill, Reza Abbaschian
- Metallurgia Principi generali. Walter Nicodemi. Zanichelli
- Acciai e leghe non ferrose. Walter Nicodemi. Zanichelli
- Gold Usage. Rapson and Groenewald. Academic Press 1978.
- Chimica generale ed inorganica con elementi di organica Arnaldo Peloso. Edizioni libreria Cortina. Padova 1996
- Tecnologia Orafa Processi produttivi, mezzi e strumenti. Diego Pinton. Edizioni Gold
- Metallurgia Appunti delle lezioni per laurea in ingegneria meccanica. G.M. Paolucci. Edizioni libreria Progetto. Padova 2000