



CHRISTOPHER CORTI

COReGOLD TECHNOLOGY, READING, U.K.

Chris Corti ha al suo attivo oltre 34 anni di esperienza nel campo dei metalli preziosi acquisita presso la Johnson Matthey ed il *World Gold Council*. Ha concentrato il suo lavoro sui materiali utilizzati nel settore gioielleria e sulle tecnologie produttive presso il *World Gold Council*, tenendo seminari e pubblicando articoli su riviste accademiche come *Gold Technology* e *Gold Bulletin*, nonché la serie di manuali sui gioielli in oro in qualità di editore. Ha diretto la *task force* combinata di MJSA/WGC (*Manufacturing Jewelers' and Silversmiths' Association /World Gold Council*) per la definizione dell'oro bianco e partecipa spesso come relatore al Santa Fe Symposium e alle conferenze del JTF (*Jewelry Technology Forum*) affrontando vari argomenti. Ha anche promosso le applicazioni industriali dell'oro ed è stato co-editore di un nuovo libro intitolato "*Gold: Science & Applications*", pubblicato a dicembre 2009. Attualmente gestisce la sua impresa di consulenza, la COReGOLD Technology, ed offre i suoi servizi alla *Worshipful Company of Goldsmiths* di Londra.

Nella manifattura di articoli di gioielleria è risaputo che le leghe dovrebbero soddisfare le esigenze di produzione e che i prodotti ottenuti dovrebbero assicurare ottime prestazioni quando i clienti li indossano. Per garantire che tali esigenze siano soddisfatte è necessario conoscere determinate proprietà dei materiali utilizzati come, ad esempio, il carico di rottura, la durezza, il colore, la resistenza all'ossidazione ed il contenuto di metalli preziosi. Si tratta di trovare un equilibrio per fare in modo che i gioielli soddisfino il requisito di essere "adatti all'uso" cercando, al tempo stesso, di mantenere i costi al minimo, per esempio riducendo il peso del metallo contenuto nel prodotto. A volte le misurazioni vengono effettuate "in casa" ma spesso si utilizzano i dati ottenuti da fonti esterne, come i fornitori delle leghe e la letteratura scientifica. Ma quanto sono affidabili i valori che si ottengono dai test effettuati per le proprietà? Il presente studio considera le misurazioni delle proprietà delle leghe utilizzate per la realizzazione di gioielli e quelle dei gioielli finiti. Verranno illustrate le proprietà più importanti, come sono misurate e cosa possono dirci in termini di rilevanza per la manifattura di gioielli e prestazioni di servizio. Verranno anche esaminate le proprietà meccaniche, fisiche e chimiche. Inoltre sarà enfatizzata l'importanza di effettuare le misurazioni in conformità con gli standard internazionali e la necessità di avere degli standard concordati dal settore riguardo ai test da effettuare sugli articoli di gioielleria realizzati.

LA MISURAZIONE DELLE PROPRIETA' – QUAL E' LA SUA UTILITA' PER I PROFESSIONISTI DEL SETTORE GIOIELLERIA?

INTRODUZIONE

A qualcuno la domanda contenuta nel titolo di questo studio potrebbe sembrare un po' sciocca. Qualcun'altro dirà che naturalmente è utile, mentre ci saranno sicuramente altri professionisti che realizzano degli ottimi gioielli senza preoccuparsi affatto delle misurazioni, ad eccezione di quelle relative a dimensioni e peso dei prodotti. Però, quando qualcosa non va, le misurazioni di certe proprietà sono spesso la cosa più intelligente da fare per individuare eventuali problemi. E' risaputo che nella manifattura di articoli di gioielleria le leghe e gli altri materiali impiegati dovrebbero soddisfare le esigenze di produzione, e che i prodotti ottenuti dovrebbero assicurare ottime prestazioni quando vengono indossati dai clienti. Per garantire che tali esigenze siano soddisfatte è necessario conoscere determinate proprietà dei materiali utilizzati come, ad esempio, il carico di rottura, la durezza, il colore, la resistenza all'ossidazione ed il contenuto di metalli preziosi. Potrebbe anche essere necessario che i prodotti ed i processi produttivi debbano soddisfare determinati requisiti legislativi come, ad esempio, quelli riguardanti il riascio di metalli tossici come il nickel, il cadmio, il silicone e il piombo. Si tratta di trovare un equilibrio di modo che i gioielli realizzati siano "adatti all'uso", pur mantenendo i costi al minimo. La riduzione dei costi potrebbe essere un obiettivo facilmente raggiungibile diminuendo, per esempio, lo spessore dei metalli o modificando la composizione delle leghe in modo da ridurre la densità e, di conseguenza, il peso dei prodotti. Spesso il contenimento dei costi viene perseguito in maniera più complessa come, ad esempio, scegliendo un certo percorso per il processo produttivo, il tipo di attrezzature utilizzate e il tipo di lega più adatta al procedimento, magari quella in grado di migliorare il rendimento e di ridurre le operazioni di rifinitura, e così via.

A volte le misurazioni vengono effettuate "in casa" ma spesso si utilizzano i dati ottenuti da fonti esterne, come i fornitori delle leghe e la letteratura scientifica. Ma quanto sono affidabili i valori che si ottengono dai test effettuati per le proprietà? Questa domanda a sua volta ci porta a chiederci se le proprietà vengono misurate in modo corretto, o se vengono misurate quelle giuste. Tuttavia la domanda più importante rimane questa: "Cosa possono dirci le misurazioni delle proprietà per quanto riguarda la loro applicabilità a livello produttivo o di prestazioni dei prodotti per i clienti?" E' perciò necessario capire non solo i valori delle misurazioni ma anche i limiti delle tecniche di misurazione.

Il presente studio considera le misurazioni delle proprietà delle leghe utilizzate per la realizzazione di gioielli e quelle dei gioielli finiti. Verranno illustrate le proprietà più importanti, come sono misurate e cosa possono dirci in termini di rilevanza per la manifattura di gioielli e prestazioni di servizio. Verranno anche esaminate le proprietà meccaniche, fisiche e chimiche. Inoltre sarà enfatizzata l'importanza di effettuare le misurazioni in conformità con gli standard internazionali e la necessità di avere degli standard concordati dal settore riguardo ai test da effettuare sugli articoli di gioielleria realizzati.

MISURAZIONI PRINCIPALI

E' opportuno iniziare con le misurazioni principali, vale a dire con quelle riguardanti il peso, il volume e la temperatura^{1,2}. Se queste misurazioni non sono corrette si parte sicuramente svantaggiati. Abbiamo tutti la tendenza a credere a quello che troviamo stampato sulle etichette o a quello che vediamo sul display della "scatola nera". Per esempio, se il display elettronico ci informa che la temperatura del forno è di 417°C, quello non è necessariamente il valore che ci serve quando vogliamo misurare la temperatura per varie ragioni. Questo problema viene evidenziato in varie occasioni durante i simposi che trattano gli aspetti tecnologici del settore gioielleria, in particolare riguardo agli stampi negli scolacere quando si effettua una fusione di precisione a cera persa⁴. Se sul pacchetto della polvere per stampi c'è un'etichetta che dice che il contenuto pesa 5kg, siamo sicuri che il peso sia proprio quello? Se la marcatura su un lingotto d'oro indica 995 di purezza, siamo sicuri che sia giusto? Si tratta esattamente del 99.50% di oro o forse ce n'è un po' più o un po' meno? Avere questo genere di informazioni potrebbe essere di fondamentale importanza se i gioielli da realizzare devono rispondere a determinati requisiti per quanto riguarda la marcatura di produzione.

Per questi motivi dobbiamo controllare da soli le misurazioni ed anche fare in modo di utilizzare macchine o strumenti calibrati, in conformità con gli standard e le procedure ufficiali quando scegliamo di effettuare da soli le misurazioni. Alla luce di queste considerazioni sembra che la lezione che dobbiamo imparare consista nel non credere ciecamente ai valori ottenuti. E' importante controllare sempre questo genere di dati per essere più sicuri della loro esattezza e per individuare eventuali limitazioni.

PROPRIETA' MECCANICHE

Quando si parla di proprietà meccaniche spesso si intende soltanto il carico di rottura o la durezza e la duttilità di un metallo, ma di solito ciò che ci interessa è la resistenza e il grado di deformabilità in presenza di certe condizioni come, ad esempio, in caso di piegatura, imbutitura e stampaggio profondo. Ma i dati ottenuti dalla misurazione della resistenza alla trazione sono veramente validi? E cosa dire dei dati forniti dai produttori di leghe o quelli riportati in letteratura come, ad esempio, i dati sulle leghe d'oro pubblicati sulla rivista *Gold Technology*⁴?

1. Prova di resistenza alla trazione

Le misurazioni che vengono maggiormente utilizzate sono quelle che derivano da semplici prove di resistenza alla trazione. Se si tratta dei dati ottenuti dai fornitori delle leghe o di quelli trovati in letteratura, come vengono ricavati e qual è il loro livello di affidabilità? Nella Figura 1 sono riportati sotto forma di diagramma i risultati di una prova di resistenza alla trazione. Grazie al diagramma si possono determinare diversi parametri di interesse, come la resistenza allo snervamento (di solito rilevata con un allungamento pari allo 0.2%, che viene anche chiamato "carico di snervamento" o "limite di elasticità"), il coefficiente di incrudimento, la resistenza alla trazione (un tempo conosciuta come "carico di rottura"), il modulo di elasticità (modulo di Young) e allungamento come misura della duttilità. Se si determina la zona sotto la curva, è possibile ottenere anche il grado di resistenza alla frattura.

Bisogna anche tenere conto del fatto che anche la temperatura influisce sui valori delle proprietà da misurare. Come regola generale la resistenza e la durezza diminuiscono con l'aumentare della temperatura. Se si lavora

un materiale a caldo, i dati sulla resistenza alla trazione rilevati a temperatura ambiente non sono validi. Per i metalli preziosi usati in gioielleria generalmente le misurazioni delle proprietà vengono effettuate a temperatura ambiente.

Tuttavia ci sono una serie di fattori da tenere in considerazione per quanto riguarda i dati ricavati dalle prove di resistenza alla trazione. Prima di tutto è opportuno ricordare alcuni punti fondamentali:

1. Le prove di resistenza alla trazione dovrebbero essere effettuate in conformità con gli standard nazionali/internazionali come, ad esempio, con gli standard dell'ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Questo vuol dire che si devono testare le dimensioni, la geometria e la qualità della rifinitura della superficie del campione, nonché la velocità di carico. Anche il modo in cui il campione viene stretto dalla macchina è importante, dato che, ad esempio, dei morsetti rigidi e non allineati possono impartire una certa trazione o incurvare il metallo.
2. Alcune macchine per le prove di resistenza alla trazione devono essere calibrate prima dell'uso.
3. Ci sono macchine "dure" e macchine "morbide", vale a dire che le macchine stesse possono deformarsi o meno una volta che si trovano sotto carico. Le macchine morbide si deformano di più e possono fornire dei valori di allungamento o di trazione poco corretti, a meno che la resistenza alla trazione non venga misurata direttamente sul tratto utile del campione da testare. Inoltre forniranno anche un valore distorto per quanto riguarda il modulo di Young.

Oltre a quanto sopra riportato, ci sono anche altri aspetti da considerare:

4. I valori ottenuti dipendono anche dalla forma del materiale. I campioni piatti prelevati da lamiere sottili avranno valori diversi rispetto a quelli provenienti da pezzi più spessi, o da fili sottili. Una delle ragioni principali è l'effetto prodotto dall'orientamento dei grani, che verrà trattato più avanti. Va anche ricordato che le dimensioni e la forma dei grani hanno a loro volta una certa influenza.
5. I campioni fusi produrranno dei risultati diversi rispetto a quelli battuti. Questo è dovuto sia alle differenze delle loro microstrutture che alla presenza di difetti come, ad esempio, la porosità. Perciò si avrà una maggiore dispersione dei risultati per quanto riguarda i pezzi fusi.
6. Anche la finitura della superficie del campione può influenzare i risultati. Le superfici più ruvide produrranno valori inferiori rispetto a quelle ben levigate. Se dei campioni rettangolari vengono prelevati da una lamiera tagliandoli o usando una macchina, la diversa affilatura dei bordi potrebbe avere un certo impatto sui risultati.
7. La velocità con cui il carico viene applicato sul campione influenza i risultati. Se si applica il carico lentamente, si otterrà un risultato inferiore rispetto a quando il carico viene applicato bruscamente. Si tratta dell'effetto prodotto dalla velocità della trazione, dove il carico di snervamento, " σ ", è definito come segue:

$$\sigma = \dot{\epsilon}^m$$

" $\dot{\epsilon}$ " sta per la velocità della tensione ed " m " è la sensibilità alla velocità di tensione, tipicamente un valore compreso tra 0,15 e 0,25.

8. Inevitabilmente i risultati variano da pezzo a pezzo, anche se i pezzi sono nominalmente identici e provengono dallo stesso lotto di materiale. Questo è dovuto a vari fattori come, ad esempio, i difetti presenti nel campione, le condizioni della superficie (graffi, ecc.), e l'allineamento dei morsetti della macchina. Generalmente è preferibile testare almeno tre campioni e fare una media dei risultati.

Quindi abbiamo visto che i valori dei dati sulla resistenza alla trazione che si ottengono con le apposite prove dipendono da diversi fattori. Inoltre questi valori possono variare a seconda delle condizioni di lavoro del

produttore o quando i pezzi vengono utilizzati per creare gioielli, dal momento che le condizioni di trazione sono diverse rispetto a quelle di una semplice trazione monoassiale. Perciò questi valori devono essere considerati come approssimativi rispetto alla situazione reale e non come valori assoluti. Per esempio, la lavorazione a macchina di catene partendo da fili metallici presenta un elevato coefficiente di allungamento, perciò il carico di snervamento tenderà ad essere un po' più elevato del valore ottenuto con una prova di resistenza alla trazione, come osservato da Wright & Corti⁵ nel 1997.

La curva della prova di resistenza alla trazione permette anche di calcolare il modulo di elasticità (o modulo di Young). Il tratto di linea retta iniziale fino al punto di rottura è la zona in cui si verifica la deformazione elastica. In questa parte del test, togliendo il carico in qualsiasi punto, si farebbe tornare il campione alla sua lunghezza originaria. Il tratto in discesa della linea (cioè carico diviso per deformazione) è una costante che rappresenta il modulo. Questa è una proprietà importante ed indica la rigidità del materiale. Idealmente il valore del modulo per le molle dovrebbe essere molto alto. Per esempio, quando si montano le pietre sui gioielli lo "scatto" dei castoni può rappresentare un problema, e questo scatto è causato dalla deformazione elastica dei castoni che viene attenuata con la rimozione della forza usata per curvarli intorno alla pietra.

Trama a microstruttura: Si è già accennato agli effetti prodotti dall'orientamento dei grani che può produrre delle differenze nei valori relativi alla trazione, tuttavia vale la pena approfondire il discorso. Come è risaputo, gran parte dei metalli e delle leghe sono policristallini, così come lo sono molti cristalli (o grani, come li definiscono gli esperti di metallurgia), ognuno dei quali ha un orientamento diverso del tutto casuale. Quando i metalli e le leghe subiscono una deformazione i piani dei cristalli dei grani si sovrappongono per adeguarsi al cambiamento di forma che viene imposto. Questa sovrapposizione è facilitata dai difetti del reticolo cristallino definiti "dislocazioni". E' opportuno ricordare che certi piani dei cristalli all'interno del reticolo contengono più atomi e sono più lontani dai piani adiacenti rispetto ad altri e, perciò, si prestano meglio alla sovrapposizione all'interno del reticolo. Di conseguenza, man mano che si verifica la deformazione, l'orientamento dei cristalli tende a ruotare verso la configurazione energetica più bassa così da permettere la sovrapposizione sotto l'effetto del carico. A questo punto lo spettro dell'orientamento dei grani non è più casuale e si sviluppa così un "orientamento preferenziale" o una "trama cristallina" (Figura 2), e proprietà di resistenza alla trazione non sono più isotropiche. I valori cambieranno con la direzione del materiale a seconda del carico imposto e della direzione della deformazione. L'orientamento preferenziale o la trama che si è sviluppata dipenderanno dalla modalità di deformazione (e dal tipo di reticolo cristallino). Con la laminazione si ottengono trame diverse rispetto, ad esempio, a quelle ottenute con lo stampaggio profondo o con la forgiatura perché vengono attivati dei sistemi di carico diversi.

La grana che si sviluppa può essere manipolata a seconda della procedura che si segue. Per esempio, nel caso della laminazione a freddo si può laminare il metallo seguendo un'unica direzione, oppure alternando la direzione nel corso dei passaggi. L'ultima soluzione provocherà meno anisotropia rispetto alla laminazione unidirezionale. Quando i materiali vengono sottoposti a ricottura dopo la deformazione, si ottiene una grana diversa a causa della ricristallizzazione e questo influenza eventuali deformazioni successive. Un buon esempio degli effetti provocati dal cambiamento della grana sulla deformazione viene fornito nella Figura 3, dove, in seguito a imbutitura, si formano delle "orecchie" sul bordo della cupola ottenuta.

Quando si ottengono i dati sulla resistenza alla trazione dalla letteratura si dovrebbe tenere conto del tipo di materiale usato per le prove. Per esempio, molti dei dati sulle leghe d'oro riportati nella rivista *Gold Technology* provengono da prove effettuate su fili metallici. La trafilatura effettuata sui fili provoca la formazione di una grana importante che è diversa da quella ottenuta con la laminazione in fogli e, perciò, si ottengono dati diversi sulla resistenza alla trazione. Si tratta di differenze minime ma tuttavia significative.

Inutile dire che i dati sulla resistenza alla trazione sono utili e possono servire come guida, ma bisogna comunque ricordare che non sono valori assoluti. Così come per la durezza, che verrà trattata nella prossima sezione, le misurazioni per la resistenza alla trazione possono essere utili per capire le condizioni metallurgiche di un materiale ed il suo comportamento in caso di successive deformazioni.

2. Durezza

La misurazione della durezza è stata trattata ampiamente nel corso di recenti simposi sugli aspetti tecnologici⁶⁻⁸, perciò non verrà affrontata in modo particolareggiato in questa sede. Tuttavia, per poter ottenere dei dati significativi, le misurazioni dovrebbero essere effettuate secondo gli appositi standard. Inoltre bisognerà anche calcolare la media dei risultati ottenuti da diverse prove, dal momento che i risultati possono variare notevolmente da prova a prova a causa dei diversi tipi di microstrutture e degli effetti della grana dei metalli. La durezza non è una proprietà assoluta ma ha piuttosto un carattere comparativo. Una differenza di pochi punti di durezza tra due materiali non dovrebbe essere considerata significativa.

Il valore della durezza di un materiale è un buon indicatore delle sue condizioni metallurgiche, vale a dire se il materiale è allo stato grezzo di colata o è stato sottoposto a ricottura, oppure se ha raggiunto un certo grado di incrudimento in seguito a lavorazione, o se si è indurito per invecchiamento. Nell'eventualità che sorgano problemi con un cliente a livello di produzione o di servizio, spesso la prima cosa da fare per scoprire la causa dei problemi è proprio testare la durezza del metallo, anche perché, il più delle volte, si tratta di un test semplice e veloce da effettuare. Come già menzionato la durezza è un ottimo indicatore della resistenza all'usura e all'abrasione dei materiali. I materiali morbidi sono più soggetti ad usura e meno resistenti alle abrasioni. Per quanto riguarda i gioielli la cosa migliore è avere una lega molto dura se il prodotto deve avere una buona resistenza all'usura e alle distorsioni, ma sarà più difficile lavorarla meccanicamente in fase di produzione. La matrice per lo stampaggio dovrà essere fatta di un acciaio molto duro, in modo da evitare che si deformi sotto carico (perché questo provocherebbe una distorsione della forma e delle dimensioni del pezzo), ed anche per ridurre il grado di usura del prodotto.

3. Deformazione della lamiera

I dati sulla resistenza alla trazione e sulla duttilità ottenuti per mezzo di prove di trazione monoassiale non forniscono necessariamente una buona indicazione del comportamento del metallo durante il processo di lavorazione come, ad esempio, durante la laminazione o la creazione di fogli. Ci sono altre prove meccaniche che sono molto più utili quali, ad esempio, le prove di imbutitura e di flessione che, infatti, aiutano a determinare il grado di anisotropia durante la trazione e la malleabilità in fase di laminazione. Il sistema di carico in questo genere di procedimento può essere molto complesso e provocare una deformazione non uniforme, perciò le misurazioni di questa proprietà potrebbero essere molto utili per ottimizzare i parametri del processo.

Esistono dei test che possono meglio simulare le condizioni di deformazione, come la prova di imbutitura di Erichsen (Standard ASTM E 643-84), Figura 4. Per questa prova un campione di lamiera ricotta viene clampata tra uno stampo ed un premilamiere usando un carico di serraggio standard. Un normale punzone sferico viene spinto sulla lamiera in modo da formare una cupola. La deformazione deve continuare fino a quando la lamiera si frattura e viene perforata. A questo punto la profondità della cupola che si è formata viene registrata come valore di imbutitura di Erichsen (in millimetri). Tuttavia anche questo valore serve soltanto come guida. Per esempio, nello stampaggio profondo di cupole la pressione di clampaggio è più bassa e la lamiera può scivolare verso l'interno durante il processo di deformazione. In questo caso non c'è molta trazione della lamiera, ma piuttosto una variazione della forma. Esistono diversi tipi di stampaggio per le lamiere che comportano un notevole allungamento e una forte trazione.

4. Altre prove meccaniche

Resistenza alla frattura: Di solito non siamo molto interessati a questo genere di test dato che gran parte delle leghe di metalli preziosi usate in gioielleria sono abbastanza dure e, perciò, un basso livello di durezza non è un problema tipico del nostro settore. La misurazione della resistenza alle fratture richiede una complessa preparazione dei campioni e le tecniche sono complicate. Tuttavia Fischer e Buehner⁹ hanno trattato nel 2009 un'interessante sviluppo di una semplice prova elaborato per valutare la resistenza alla frattura comparata di leghe intermetalliche, colorate e friabili. Questo metodo si è rivelato molto utile per la realizzazione di materiali meno friabili ed ha permesso di evitare dei test molto più sofisticati e costosi.

Fatica: Una proprietà che di solito non viene misurata per la lavorazione di metalli preziosi è la resistenza alla fatica. Per questo genere di prova il materiale in questione viene sottoposto a sollecitazioni alternate con carichi al di sotto del suo punto di rottura, e la fatica viene misurata in base al numero di cicli effettuati prima che si verifichi la frattura in base ad un dato livello di sollecitazioni alternate. Normalmente, per molte leghe, c'è un livello di sollecitazione al di sotto del quale non si verifica la rottura, conosciuto come resistenza alla fatica. Generalmente per molte leghe il valore della resistenza alla fatica può essere equivalente a metà del valore della resistenza alla trazione. Tuttavia la fatica può rappresentare un grave problema nel caso dei componenti delle molle in gioielleria come lo è, ad esempio, per i ganci e i collegamenti nel campo dell'elettronica. Praticamente non esistono studi pubblicati sul comportamento delle leghe usate in gioielleria in presenza di fatica e questo rende più difficile la realizzazione delle leghe usate per le molle.

Resistenza all'usura e all'abrasione: Di solito questa proprietà viene misurata per mezzo di test di laboratorio in cui si cerca di simulare una situazione reale. Generalmente l'usura da abrasione viene misurata sfregando il materiale da testare contro un altro materiale avente un grado di durezza normale, applicando carico costante. Potrebbe trattarsi di un movimento continuo in un'unica direzione (come nei metodi *Pin-on-Disk*), o di movimento alternato, dove il campione si muove avanti e indietro sopra il materiale usato per la prova. Un'altra tecnica consiste nella burattatura effettuata con sostanze lucidanti all'interno di un buratto, un metodo che comporta movimenti a caso e richiede caricamento. Generalmente l'usura viene misurata attraverso la perdita di peso del campione. Sono state effettuate anche delle prove in condizioni reali, durante le quali dei gioielli, come degli anelli, sono stati indossati da diverse persone per poi calcolare una media della perdita di peso di ogni lega utilizzata. Con questo metodo si riconosce l'influenza del tipo di vita che conducono le persone che indossano i gioielli e, perciò, il grado di usura degli stessi varia in base allo stile di vita che hanno, che può essere definito

“duro” o “morbido”. C’è stato un caso in cui un ricercatore decise di controllare il peso della sua fede nuziale in oro da 18ct una volta all’anno, per un periodo di cinque anni, in modo da stabilirne il grado di usura e per scoprire se il suo stile di vita in periodi diversi poteva influenzare l’usura del metallo³³. Il ricercatore scoprì che l’usura per abrasione risultava predominante, mentre l’usura per corrosione causata dal sudore risultò trascurabile, e variava a seconda del tipo di attività svolta. Comunque, in linea di massima, il grado di usura rimase relativamente costante nell’arco dei cinque anni, Figura 5. Come già menzionato il grado di usura generalmente è più basso se il grado di durezza del materiale è elevato, visto che i materiali più morbidi sono più soggetti ad usura.

PROPRIETA' FISICHE

1. Densità

La densità (o peso specifico) delle leghe utilizzate in gioielleria rappresenta una proprietà che è utile conoscere, ed il suo valore può variare notevolmente a seconda della composizione chimica delle leghe utilizzate.

Conoscere la densità di una lega aiuta a stabilire la quantità di metallo che bisogna fondere per effettuare una colata di precisione con piantoni in cera, ed anche la capacità che il crogiolo dovrebbe avere per i diversi tipi di lega. Conoscere la densità di un gioiello serve a dare un’idea del possibile tenore di una lega d’oro zecchino, o aiuta a capire se l’eventuale metallo bianco è a base di argento, palladio o platino. Di solito si prendono per buoni i dati forniti dai produttori di leghe, ma a volte è necessario misurare questa proprietà per conto proprio.

Se si conosce abbastanza bene la composizione della lega, si può calcolare la sua densità in base alla regola delle miscele in modo abbastanza preciso:

$$100/D = W_A/D_A + W_B/D_B + W_C/D_C + \dots$$

Nell’equazione sopra riportata “D” sta per la densità della lega, “W_A” sta per il peso del metallo “A” in percentuale, “W_B” sta per il peso del metallo “B” in percentuale, “W_C” sta per il peso del metallo “C”, ecc., e “D_A”, “D_B”, “D_C”, ecc. stanno rispettivamente per le densità dei metalli “A”, “B”, “C”, ecc..

Il modo migliore per misurare la densità di un pezzo di lega (o di qualsiasi materiale solido come, ad esempio, una pietra preziosa) consiste nel pesarlo sia quando è immerso in un liquido che quando è fuori dal liquido, usando il principio di Archimede. Si tratta di un semplice calcolo che serve a stabilire la densità media del pezzo in questione. Anche se il peso del materiale da testare può essere misurato con una certa precisione, bisogna però tenere conto dei limiti della tecnica. Infatti se il campione presenta delle porosità o delle inclusioni, il (basso) valore ottenuto non sarà corretto. Bisogna anche assicurarsi che non ci sia dell’aria intrappolata nel campione quando si immerge nel liquido.

Qualcuno crede che si possa usare la misurazione della densità per stabilire la composizione chimica delle leghe d’oro zecchino, ma questo principio vale soltanto per le leghe binarie. Gran parte delle leghe commerciali sono composte da tre o più metalli e delle leghe diverse possono avere la stessa densità. Perciò la densità non può essere usata per determinare la composizione della lega da utilizzare¹⁰.

2. Colore

Il colore è una proprietà estematicamente importante nell'ambito della gioielleria, particolarmente per quanto riguarda gli ori zecchini. L'occhio umano può individuare delle piccole differenze di colore e così, per esempio, le righe di una saldatura possono risultare chiaramente visibili in qualche caso, se il colore della saldatura è leggermente diverso da quello della lega che la ospita. In questo contesto bisogna tenere conto del fatto che il colore può essere misurato quantitativamente e, infatti, il sistema CIELab è ormai diventato la norma nel nostro settore¹¹. Con questo sistema si misurano tre componenti del colore: "a*", "b*" e "L", dove "a*" sta per il componente rosso-verde, "b*" sta per il componente giallo-blu, ed "L" sta per la luminosità (dal nero al bianco), Figura 6. E' possibile raffigurare graficamente i valori di queste tre coordinate e confrontare il colore di leghe, ottenendo dei risultati facilmente comprensibili. Ma, cosa ancor più importante, è possibile inviare i valori rilevati in tutto il mondo e chi li riceverà potrà capire esattamente di quale colore abbiamo bisogno.

Grazie ai moderni spettrofotometri misurare il colore è diventato molto facile e si possono ottenere rapidamente le coordinate cromatiche del campione di lega da testare. Tuttavia bisogna pur sempre tenere conto che la finitura superficiale del campione deve essere liscia e uniforme e che il tipo di luce incidente svolge un ruolo significativo riguardo al colore che vediamo. Infatti se si cambia la fonte luminosa, il colore del campione sembrerà diverso e le coordinate cromatiche che si otterranno saranno diverse. Questo fenomeno è conosciuto come "metamerismo" e potrebbe causare problemi nella vita reale quando, per esempio, i prodotti sono esposti nella vetrina di un negozio, dove l'illuminazione cambia considerevolmente. Il colore di altri articoli da abbinare ai gioielli (per esempio, degli articoli di moda femminile) può sembrare non adatto a seconda della luce che li illumina. Quindi è importante che le misurazioni dei colori siano effettuate in presenza di una luce normale, di tipo standard, e questo per il nostro settore vuol dire "Illuminante C" (l'Illuminante D65 è quello più simile). Per ottenere dei valori significativi le misurazioni devono essere effettuate in presenza di quelle che sono considerate condizioni standard per il nostro settore.

Le misurazioni dei colori sono estremamente importanti nel nostro campo dato che ci permettono di definire esattamente i colori nei nostri rapporti con i fornitori e con i clienti. Parlando di colori, cosa vuol dire un oro da 18ct giallo 3N standard, o un oro rosso 5N? E' proprio conoscendo i valori delle coordinate cromatiche che possiamo definirli con precisione.

L'importanza della misurazione cromatica delle leghe usate in gioielleria è stata evidenziata nel 2003 con riferimento alla definizione del colore dell'oro bianco. E' stato allora che gli esperti del nostro settore si sono chiesti: "Che cos'è l'oro bianco?", dato che fino a quel momento non esisteva una definizione ufficiale per il colore bianco nell'industria della gioielleria. Quand'è che il bianco non è più bianco e diventa giallo chiaro? Dov'è la linea di confine per questo colore? Dal momento che molti dei gioielli in oro bianco venivano tradizionalmente (e per legge) placcati per mezzo di galvanostegia con il rodio, in modo da nascondere le imperfezioni del bianco, la domanda non era affatto inutile, visto che sarebbe stato ingannevole, se non illecito, definire l'oro giallo placcato con il rodio come oro bianco.

Come molti di voi sapranno l'MJSA (*Manufacturing Jewelers & Silversmiths of America*) ed il *World Gold Council* hanno creato una *task force* per definire il bianco¹² e molto del lavoro tecnico preliminare è stato svolto nello

UK¹³. Dopodiché è stato adottato un semplice parametro cromatico, l'*Indice del giallo* ("*Yellowness Index*"): *D1925*, per la definizione del bianco, dove un valore pari o inferiore a 32 è accettabile come bianco. All'interno di questo valore sono state stabilite tre gradazioni di bianco, vale a dire "premium", "standard" e "bianco sporco". Queste categorie possono essere interpretate in termini di coordinate CIE Lab (vedi Fig. 5 del riferimento N°12, per esempio). Oggi come oggi molti fornitori di leghe statunitensi, europei o di altre parti del mondo descrivono le loro leghe di oro bianco usando queste tre gradazioni. Anche i professionisti che trattano gioielli in platino e palladio usano queste misurazioni per dichiarare che i loro prodotti sono più bianchi, così come fanno anche i produttori di sale di rodio per placcature. In tutti gli eventi di settore a cui partecipo mi capita sempre di vedere dei nuovi prodotti per la placcatura al rodio che vengono descritti come capaci di rendere i gioielli "ancora più bianchi", in base ai dati ottenuti con la misurazione cromatica.

3. Proprietà termiche

In questa sezione sono trattate alcune proprietà come l'espansione termica, il calore specifico, la conduttività e la diffusività termica. Anche se molti professionisti del settore non ritengono che queste proprietà li interessino direttamente, tuttavia si tratta di proprietà riguardanti sia le leghe che alcuni prodotti di consumo che sono comunque importanti per certi processi produttivi. Per esempio, John Wright ha cercato di capire perché è più facile effettuare saldature al laser sul platino che non sull'oro e sull'argento, affrontando il problema in base alla diversa diffusività termica dei tre metalli^{5,14}. I valori vanno da 1,7 a 1,15 per l'argento e l'oro rispetto ad appena 0,25 – 0,3 per il platino. La diffusività termica viene calcolata come segue: Conduttività termica : (calore specifico x densità), perciò anche in questo caso la densità svolge un ruolo secondario.

Per la normale produzione di gioielli le proprietà termiche delle leghe tendono a non essere molto importanti, ad eccezione dell'effetto che hanno sulle operazioni di assemblaggio quali la saldatura, ad esempio, dove il flusso termico lontano dalla giuntura stabilisce la potenza del calore da applicare. Anche il flusso termico che passa attraverso il materiale degli stampi è importante in relazione all'andamento della solidificazione nei processi di fusione (la mia presentazione intitolata "*Basic Metallurgy*"¹⁵ dimostra come questo fattore influenza la macrostruttura della lega che si tratta).

Il flusso termico e la capacità termica sono importanti anche per quanto riguarda la fusione di precisione, e la simulazione al computer ha evidenziato la necessità di misurare queste proprietà fisiche sui materiali stessi¹⁶, sia a livello delle leghe che vengono fuse che dello stampo in ceramica utilizzato per la fusione di precisione, dal momento che questo genere di dati non esiste in letteratura.

L'espansione termica delle leghe, delle gomme, delle cere/resine e dei materiali usati per gli stampi è importante anche al fine di stabilire le dimensioni finali dei pezzi fusi, e per capire se si rischia di ottenere dei pezzi difettosi a causa dello stress termico durante il processo di solidificazione. Teresa Frey¹⁷ e Andy Andrews¹⁸ hanno discusso in occasione di recenti simposi l'influenza dell'espansione termica delle resine RP e degli stampi per fusione di precisione sul buon esito della fusione. In entrambe gli studi sono state effettuate le misurazioni dell'espansione per stabilire la causa della qualità scadente di certi prodotti fusi. Anche le caratteristiche dell'espansione termica degli stampi a base di gesso sono state evidenziate in diversi studi¹⁹ in quanto considerate la base per definire il ciclo di scioglimento degli stampi.

Si può quindi concludere che le proprietà termiche sono importanti, anche se vengono utilizzate senza rendersene conto nella normale lavorazione dei gioielli.

PROPRIETA' CHIMICHE

Ci sono diverse proprietà chimiche da cui si può trarre vantaggio nella produzione di gioielli. Naturalmente la resistenza agli acidi dei metalli utilizzati è importante per la pulizia di materiali sporchi e/o ossidati come, ad esempio, quelli riciclati, ed anche la loro solubilità per quanto concerne i processi di raffinazione. Tuttavia le proprietà da tenere particolarmente in considerazione a livello di produzione e dell'uso a cui sono destinati i gioielli sono la corrosione e l'ossidazione, specialmente riguardo all'argento e alle leghe d'oro. Anche il rilascio di metalli, come il nickel rilasciato dall'oro bianco, rappresenta un fenomeno di corrosione ed è particolarmente rilevante al giorno d'oggi, vista l'importanza che hanno assunto gli aspetti legati alla salute e alla sicurezza sul posto di lavoro. Come è già stato menzionato, anche l'ossidazione è considerata una forma di corrosione, e anche la rottura per corrosione sotto tensione degli ori zecchini richiede un ambiente corrosivo.

Per prevedere il comportamento dei metalli lavorati per quanto concerne corrosione o ossidazione e rilascio di metalli vengono effettuati dei test di laboratorio accelerati per simulare delle situazioni reali. Vengono anche effettuati dei test di laboratorio per valutare la suscettibilità dei metalli rispetto alla rottura causata da corrosione sotto tensione. Sono stati presentati diversi studi riguardanti l'ossidazione nel corso di precedenti simposi, dei quali solo alcuni sono elencati nella bibliografia di questo studio²⁰⁻²³. Tutti gli studi in questione hanno dimostrato che i test di ossidazione simulata non sono adatti a simulare le situazioni reali. I vari test analizzati producono risultati diversi e questi, a loro volta, sono diversi rispetto a ciò che succede in realtà. Una lega può rivelarsi migliore di un'altra con un dato test ma anche peggiore se sottoposta ad una prova diversa. Nella migliore delle ipotesi i dati ottenuti da questi test possono soltanto servire come valori guida per capire il comportamento effettivo dei metalli studiati. Lo stesso vale per le prove inerenti al rilascio dei metalli²⁴⁻²⁶. Ciò nonostante bisogna comunque effettuare questo genere di test in modo da ottenere dei dati comparativi, specialmente quando si devono osservare dei requisiti legislativi come, ad esempio, la normativa europea sul rilascio di nickel. In questo caso viene specificata la metodologia da seguire per le prove ed il valore del rilascio di metallo ottenuto deve rispettare i limiti stabiliti. Tuttavia i valori ottenuti non riflettono necessariamente quelli derivanti dall'uso dei gioielli da parte dei consumatori, né garantiscono che l'osservanza dei criteri stabiliti aiuti a prevenire le irritazioni di cui soffrono i clienti che sono allergici al nickel.

QUAL E' L'UTILITA' DELLA MISURAZIONE DELLE PROPRIETA'?

Alcune delle osservazioni riportate nelle sezioni precedenti hanno illustrato l'importanza di certe proprietà per la realizzazione di gioielli, nonché per determinare le loro prestazioni di servizio quando i clienti li indossano. Nella pratica quotidiana è possibile che le proprietà in questione non vengano appositamente e coscientemente misurate, ma bisogna senza dubbio essere consapevoli dei valori di queste proprietà e delle implicazioni che tali valori hanno nella produzione di gioielli di buona qualità e adatti all'uso a cui sono destinati. Conoscere questi valori ci aiuta a scegliere la lega più adatta o i prodotti di consumo che meglio si prestano a determinate lavorazioni e all'uso finale. Inoltre servono anche ad assicurare una certa efficienza nella produzione ed un buon rapporto qualità-prezzo. Un buon controllo delle proprietà trattate in questo studio ed il rispetto delle tolleranze previste possono anche portare ad una maggiore uniformità della produzione. Da parte mia ho sempre enfatizzato l'importanza di effettuare le misurazioni osservando gli standard previsti per i test nel nostro settore, sia a livello nazionale che internazionale, in modo da ottenere dei valori validi e che possono essere confrontati. E' stato anche osservato che i valori ottenuti possono presentare delle limitazioni e, perciò, devono essere interpretati ed applicati con una certa precisione e, in certi casi, anche con una certa cautela.

All'inizio di questo studio sono state illustrate le misurazioni delle proprietà principali come il volume, il peso e la temperatura, ed è stata anche sottolineata l'importanza di effettuare le misurazioni in modo corretto e accurato. A titolo di esempio vorrei evidenziare la loro importanza nella fusione di precisione.

Prima di tutto parliamo della preparazione della polvere per gli stampi. I produttori consigliano la quantità di acqua e polvere da mescolare per ottenere degli stampi robusti e che abbiano una buona superficie. Sia la quantità d'acqua che il peso della polvere dovrebbero essere misurati accuratamente, altrimenti l'impasto potrebbe non essere adatto a produrre uno stampo soddisfacente. Carter ha dimostrato²⁷ gli effetti che un'alterazione del rapporto polvere/acqua può produrre su diverse proprietà dello stampo come, ad esempio, il tempo di colata, la fluidità, la resistenza meccanica a secco e la resistenza di cottura. Anche le più piccole variazioni possono produrre degli effetti significativi. Inoltre Carter ha dimostrato che anche la temperatura dell'acqua può avere una certa importanza²⁸.

La temperatura è importante anche in altre fasi del processo di fusione: lo scioglimento dello stampo deve seguire un ciclo determinato, dove c'è un limite per la temperatura massima che si può raggiungere. Sia la temperatura dello stampo che quella del metallo fuso sono importanti per quanto riguarda la fusione del metallo nello stampo al fine di minimizzare i difetti, specialmente la porosità, ed anche per assicurare un buon riempimento dello stampo ed una buona qualità della superficie. La precisione nel misurare la temperatura è di fondamentale importanza per ottenere prodotti di qualità ed una certa uniformità delle fusioni.

PROVE SUI PRODOTTI FINITI

Come si fa a sapere se un gioiello che abbiamo prodotto è conforme con i requisiti legislativi, è adatto all'uso, ha un'adeguata resistenza all'usura e alle abrasioni, una resistenza meccanica e una duttilità soddisfacenti, ed è in grado di resistere agli urti e ad altre sollecitazioni a cui sarà sottoposto una volta indossato? Le molle delle chiusure funzioneranno per molto tempo o si romperanno subito? L'anello resisterà agli urti e alle abrasioni a cui sarà sottoposto entrando in contatto con altri anelli indossati sulle altre dita, o si deformerà? Il medaglione o il ciondolo si ossideranno troppo presto? Il gioiello è conforme con le norme UE sul rilascio di nickel? Si romperà a causa della corrosione sotto tensione? Sono questi gli interrogativi che riguardano un gran numero di fattori rilevanti da considerare per stabilire se un gioiello è adatto all'uso per cui è destinato.

Possiamo rispondere a queste domande soltanto testando certe proprietà. Alcune proprietà riguardano i materiali utilizzati mentre altre richiedono delle misurazioni da effettuare sui gioielli finiti. Nel mio studio²⁹ intitolato: *"Quality in Jewelry Manufacturing – Beyond 2000"* (*"Qualità nella manifattura di gioielli – Oltre il 2000"*) che ho presentato al simposio di Santa Fe del 1998, ho affrontato il tema della qualità in termini di prestazioni di servizio. Stabilire come si comporterà un gioiello una volta che sarà indossato dal cliente è piuttosto difficile, dal momento che la qualità delle prestazioni di servizio non è immediatamente visibile. Inoltre il gioiello potrebbe contenere dei difetti di lavorazione o di progettazione. Alcuni fattori dipendono dall'uso e dal tempo, mentre altri sono legati alla lavorazione. L'usura, ad esempio, è un fattore che dipende dal tempo, mentre la montatura di una pietra troppo lenta o la rottura di una catena possono dipendere da difetti di lavorazione.

Questi aspetti si possono valutare soltanto effettuando delle prove qualitative sui prodotti. Molti produttori hanno elaborato per conto proprio dei test per la misurazione dei fattori in questione. Agarwal e Raykhtsaum hanno trattato il tema delle prove da effettuare sui prodotti, specialmente sulle catene, ed i test messi a punto dalla Leach & Garner^{30,31} nel 1995 e nel 1997. Più di recente Auberson ha studiato³² diversi test elaborati da Cartier per la misurazione delle prestazioni di servizio, ivi compreso un nuovo test "da borsetta" (*"handbag test"*), Figura 7, che evidenzia certi fattori come i difetti di produzione, i danni causati da impatto e la resistenza all'usura e all'abrasione. Altri produttori hanno messo a punto altri test, ma molti di questi test sono tenuti segreti e non vengono pubblicizzati.

Per quanto questi test siano degni di lode, il punto che desidero sottolineare è che i risultati di queste prove non sono confrontabili con quelli ottenuti da altri produttori, dal momento che ognuno applica i propri metodi e le proprie procedure. Nel 1998 ho fatto presente che il settore nel suo insieme dovrebbe elaborare e concordare dei metodi standard per le prove in questione e per le procedure da seguire che tutti dovrebbero applicare per quanto riguarda i prodotti di gioielleria²⁹. Non sono al corrente di nessun progresso fatto in questo senso verso la creazione di test standardizzati per l'intero settore. Chi accetterà la sfida e porterà avanti il discorso? I vantaggi per il settore sembrano evidenti! Senza le misurazioni delle proprietà nessun produttore può avere la certezza che i suoi prodotti rispondano ai requisiti previsti per legge e che siano adatti all'uso per cui sono destinati. Se dovessero insorgere delle dispute riguardo alla qualità dei prodotti, come farebbe un produttore ad essere sicuro che i suoi test qualitativi saranno accettati in tribunale, visto che non esistono dei metodi standardizzati per il settore?

CONCLUSIONI

1. In questo studio ho cercato di dimostrare quanto sia importante, se non fondamentale, per i professionisti del settore conoscere le diverse proprietà dei materiali e dei prodotti di consumo, sia per la produzione di gioielli che per il loro utilizzo successivo.
2. Bisogna ricordare che i valori ottenuti dai test possono non essere valori assoluti e possono essere validi soltanto per una certa situazione a livello di produzione o di servizio. I valori delle proprietà vanno interpretati ed applicati con cura e attenzione.
3. Le misurazioni devono essere effettuate secondo gli standard nazionali e internazionali previsti per i test, in modo da ottenere dei valori validi e confrontabili. E' importante comprendere le limitazioni dei metodi usati per i test e dei valori ottenuti.
4. I risultati delle misurazioni ottenuti con delle prove di laboratorio accelerate potrebbero non essere direttamente confrontabili con le situazioni della vita reale e, nel migliore dei casi, possono servire solo come guida. Spesso bisogna effettuare diversi test di laboratorio per ottenere una valutazione più significativa delle possibili prestazioni reali dei prodotti.
5. Gli articoli di gioielleria devono essere adatti all'uso a cui sono destinati. Per raggiungere questo scopo è fondamentale effettuare delle prove sui prodotti finiti. Anche se diversi produttori hanno elaborato i propri metodi per effettuare questo genere di test, purtroppo i risultati ottenuti rimangono difficili da confrontare. Il settore ha bisogno di porre rimedio a questa mancanza!

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare molti amici e colleghi che operano nel settore per il sostegno e le informazioni che mi hanno fornito. Inoltre un ringraziamento speciale va a Massimo Poliero e ad Andrea Basso, nonché al loro team presso il JTF, per avermi invitato a presentare il mio studio e per la loro eccezionale ospitalità.

BIBLIOGRAFIA

1. Eddie Bell, "Temperature measurement for Jewelers", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1987*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1987), 245-265
2. Mark Grimwade, "Temperature measurement", *Gold Technology No 5* (November 1991): 10-16
3. Per esempio: Valerio Faccenda e P Oriani, "Quality level improvement in investment casting: Are last generation machines the only solution?", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1999*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1999), 271-291
4. Le schede di dati sulle leghe d'oro possono essere reperite per un certo numero di leghe d'oro zecchino nella rivista *Gold Technology*, Numeri 1,6,10,19, pubblicati rispettivamente a Gennaio 1990, Maggio 1992, Luglio 1993 e Luglio 1996.
5. John Wright e Chris Corti, "Manufacture-ability of gold jewellery related to composition and properties", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1997*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1997), 155-172
6. Christopher Corti, "The role of hardness in jewelry alloys", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2008*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008), 103-120
7. John Wright, "Jewelry alloys: Hardness and hardenability", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2009*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2009), 453-472
8. Boonrat Lohwongwatana, "On hardness", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2010*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2010), 351-362
9. Joerg Fischer-Buehner, "New opportunities for blue and purple gold in jewelry casting", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2009*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2009), 151-165. Anche presentato al JTF, Gennaio 2009

10. Christopher Corti, "Assaying of jewellery – Ancient and modern", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2001, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 49-70
11. D P Agarwal and G Raykhtsaum, "Color technology for Jewelry alloy applications", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 1988, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1988), 229-244. Vedi anche: "The color of gold", *Gold Technology*, 22, Luglio 1997, 26-30
12. Christopher Corti, "White golds: the Issues – report on Round Table", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2003, Relazione orale non pubblicata. Vedi anche: Christopher Corti, "What is a white gold? Progress on the issues!", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2005, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2005), 103-119.
13. Steven Henderson e Dippal Manchandra, "White gold alloys: Colour measurement and grading", *Gold Bulletin*, 2005, **38 (2)**, 55-67 (scaricabile dal sito web: <http://www.springerlink.com/content/m581171566021028/fulltext.pdf>)
14. John Wright, "Laser-welding platinum jewelry", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2001, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 455-468
15. Christopher Corti, "Basic Metallurgy of the precious metals II: Development of alloy microstructure through solidification and working"; Questo simposio e *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2008, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008), 81-101
16. Joerg Fischer-Buehner, "Computer simulation of jewelry investment casting: What can we expect?", Oral presentation at 2005 Symposium, pubblicato nel *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2006, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2006), 193-215
17. Teresa Fryé, "A study of CAD/CAM derived materials in the casting of platinum alloys", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2008, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008), 152-174
18. Alan Andrews, "The quest for the perfect RP burnout", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2011, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2011), 53-82
19. Per esempio: Philip Horton, "Investment powder technology – The present and the future", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2001, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 213-238. Vedi anche: Ian McKeer, "A comparison of burnout cycles using an electric furnace", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2001, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 279-303
20. Mark Grimwade, "An overview of tarnish in dental and carat gold alloys", Studio presentato al The Santa Fe Symposium, 1993. Risultati non pubblicati.
21. Andrea Basso, "The tarnishing of silver alloys: Causes and possibilities", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2010, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2010), 1-25. Una versione è stata anche presentata al JTF, Gennaio 2010
22. Joseph Strauss, "Tarnish-proof sterling silver: Understanding the limitations", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2008, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008), 307-326
23. Andrea Trentin, "Tarnish phenomena of silver: chemical interactions, analysis methods and real-life estimation", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2008, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008), 327-376.
24. Roy Rushforth, "Don't let nickel get under your skin – The European experience", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2000, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2000), 281-301; Pubblicato anche in *Gold Technology*, No 28, Spring 2000, p2-10
25. Gregory Raykhtsaum & D P Agarwal, "Nickel release tests – how well do they work?", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing*, 2001, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 375-384

26. Dippal Manchandra, "Comparative performance of nickel release test procedures: PD CR 12471:2002", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2007*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2007), 323-358
27. Ralph Carter, "Effects of changing powder-to-water ratio on jewelry investments", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2001*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2001), 31-48. Vedi anche *Gold Technology*, N° 34, Primavera 2002, p22-30
28. Ralph Carter, "Effects of water quality and temperature on investment casting powders", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2000*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2000), 1-27; Pubblicato anche in *Gold Technology*, N° 32, Estate 2001, pag. 7-18
29. Christopher Corti, "Quality in Jewellery Manufacture – Beyond 2000", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1998*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1998), 1-29. [Vedi anche: 'Review of progress' - *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2007*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2007), 109-204]
30. D P Agarwal, G Raykhtsaum and M Markic, "Mechanical testing of finished jewelry and components", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1995*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1995), 367-382
31. Grigory Raykhtsaum and D P Agarwal, "Evaluation of the strength and quality of chains", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 1997*, ed Dave Schneller (Albuquerque: Met-Chem Research, 1997), 89-103; Pubblicato anche in *Gold Technology*, N° 24, Settembre 1998, pag. 2-5
32. Alexandre Auberson, "Tests for Jewelry: A must in the development and quality process", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing, 2007*, ed Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2007), 19-30
33. Georg Steinhauser, "Quantification of the abrasive wear of a gold wedding ring", *Gold Bulletin*, 2008, **41** (1), 51-57. Scaricabile dal sito web: <http://www.springerlink.com/content/a71640qg57652141/fulltext.pdf>

Nota: Le copie degli studi presentati in occasione dei vari *Santa Fe Symposium* possono essere richieste attraverso il sito web: www.santafesymposium.org, mentre per gli studi pubblicati sulla rivista *Gold Technology* la richiesta va inoltrata al *World Gold Council*, Londra, www.gold.org

DIDASCALIE DELLE FIGURE

1. Rappresentazione schematica di una tipica curva della prova di resistenza alla trazione.
2. Rappresentazione schematica dell'orientamento preferenziale in un metallo policristallino (le frecce indicano la direzione dei cristalli).
3. Formazione di "orecchie" sul bordo di una cupola in seguito ad imbutitura a causa della grana dei cristalli.
4. Prova di imbutitura di Erichsen.
5. Perdita di peso di una fede nuziale in oro da 18ct nell'arco di un anno (da Steinhauser³³).
6. Sistema CIELab per la misurazione dei colori.
7. Test "da borsetta" di Cartier ("*Handbag' test*") per gioielli finiti (cortesia di A. Auberson, Cartier).

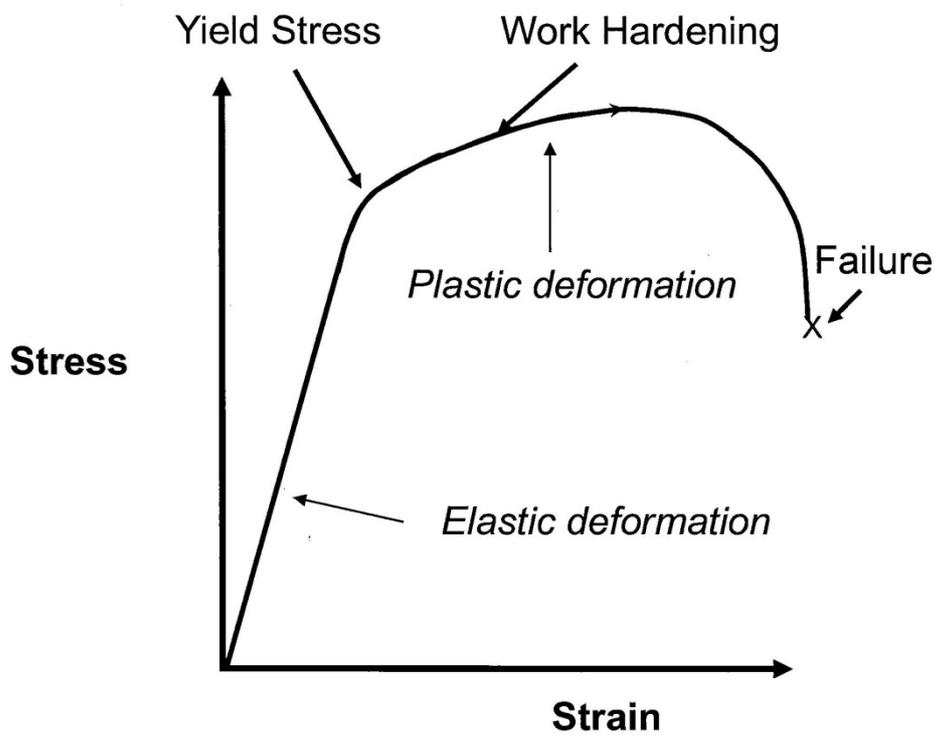


Figura 1 - Rappresentazione schematica di una tipica curva della prova di resistenza alla trazione.

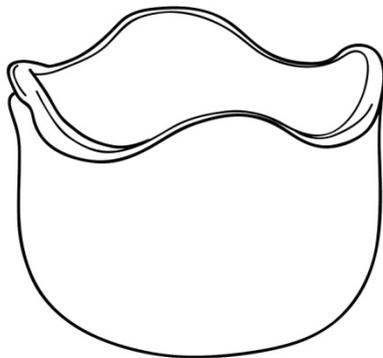
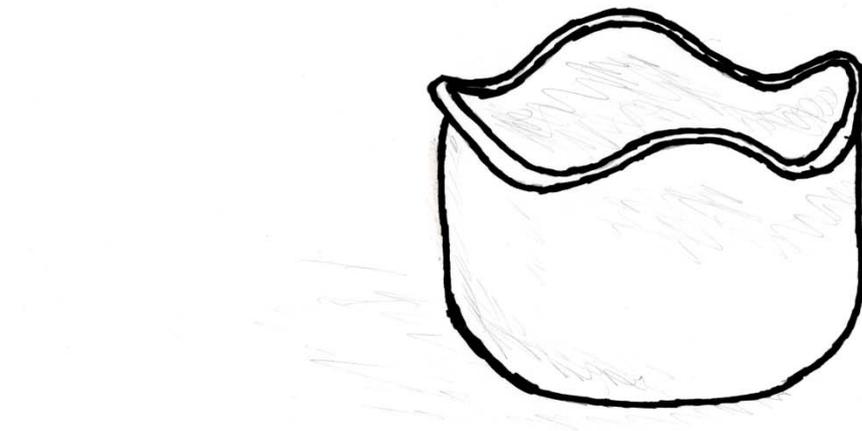


Figura 3 - Formazione di "orecchie" sul bordo di una cupola in seguito ad imbutitura a causa della grana dei cristalli.

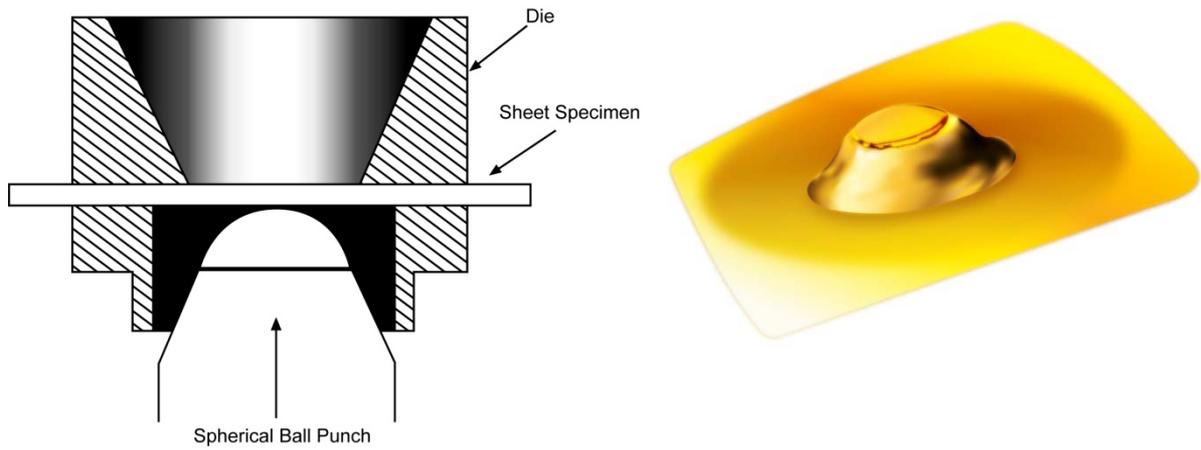


Figure 4 - Prova di imbutitura di Erichsen.

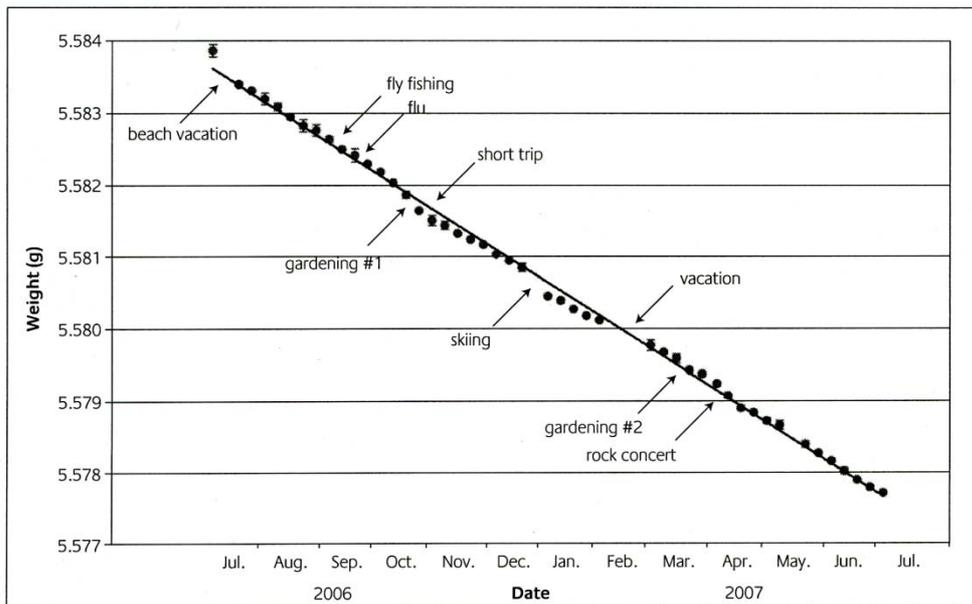


Figura 5 - Perdita di peso di una fede nuziale in oro da 18ct nell'arco di un anno (da Steinhauser³³).

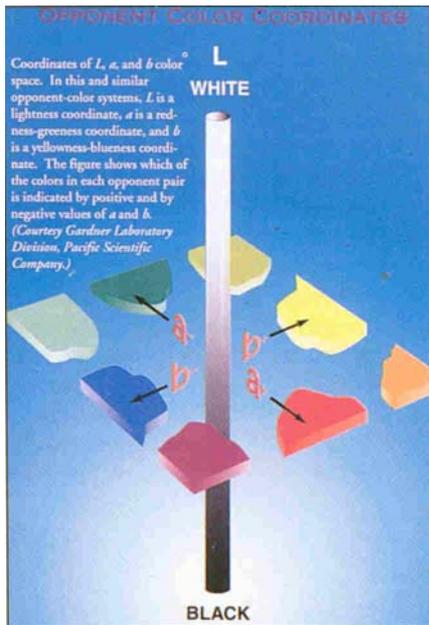


Figura 6 - Sistema CIELab per la misurazione dei colori.



Figura 7 Test "da borsetta" di Cartier ("*Handbag' test*") per gioielli finiti (cortesia di A. Auberson, Cartier).