



TERESA FRYE'

TechForm Advanced Casting Technology
Portland, OR USA

Teresa Frye ha maturato oltre 25 anni di esperienza di lavoro nell'industria della fusione di precisione. Ha dedicato i primi anni della carriera all'attività di vendita e marketing presso la Precision Castparts Corpo., al servizio di un ampio portafoglio clienti internazionali nel settore della fusione aerospaziale in Europa e in Giappone. Nel 1994 è cofondatrice della TechForm Advanced Casting Technology. La TechForm ha avviato la propria attività servendo i mercati aerospaziale e medico, affacciandosi all'industria gioielliera nel 1995 e specializzandosi nei metalli del gruppo del platino e nei metalli di base ad alta temperatura. Ha ottenuto il titolo di laurea in Affari Internazionali presso il Lewis & Clark College di Portland, in Oregon, USA.

Quasi 20 anni dopo la sua rinascita come metallo diffuso nel settore della gioielleria, il platino rimane attualmente uno dei metalli più difficili da fondere. Anche le tecniche di fusione più sofisticate e consolidate incontrano difficoltà nel realizzare colate che risultino dense in modo uniforme. Questa ricerca originale indaga da vicino le condizioni di solidificazione delle principali leghe di platino e il trattamento termico ad alta pressione di colati per aumentare la densità.

Leghe di platino nel XXI Secolo: Uno Studio Comparativo

Teresa Fryé, TechForm Advanced Casting Technology
Portland, OR USA

Joerg Fischer-Buehner, Legor Group S.p.A.
Bressanvido, Italia

Introduzione

Sin dalla loro ripresa all'inizio degli anni novanta, i gioielli di platino sono divenuti il prodotto principale nei mercati dedicati agli sposi, nel mondo. Molti consumatori considerano il platino l'ultimo dei metalli del settore della gioielleria, in larga parte per la rarità, la purezza e la longevità che lo contraddistinguono rispetto alle leghe d'oro. Oggi, oltre quindici anni dalla rinascita e ben all'interno delle curve di apprendimento dei produttori, il platino resta uno dei metalli per gioielli più difficili da fondere. La porosità e le inclusioni sono un luogo comune e anche le operazioni di colata più attrezzate riveleranno una buona dose di rigetti e sontuosa rilavorazione. Le ragioni di ciò sono spesso attribuite alla densità e all'alta temperatura di fusione del platino, cui si associa una limitata comprensione dei relativi comportamenti di solidificazione nei vari stati di lega.

Oltre alle sfide dei produttori, sia i consumatori sia i rivenditori esprimono il proprio disappunto rispetto alla resistenza all'usura visiva di alcuni gioielli di platino. In Nord America, i consumatori tendono ad indossare i propri gioielli di nozze tutti i giorni e la maggior parte di questi preferisce una finitura ad alto lustro. La maggior parte delle leghe di platino più duttili è soggetta ad eccessiva deformazione, graffiatura e perdita di lucentezza per averli indossati tutti i giorni.

Il presente studio si prefigge il duplice obiettivo di analizzare questi aspetti. Innanzitutto, auspichiamo ad una migliore comprensione dei comportamenti di solidificazione di un certo numero di leghe di platino in uso, oggi, nel Nord America, nell'industria della gioielleria. Saranno esaminate le preoccupazioni dei produttori che dedicano sempre più tempo alla finitura di un articolo di gioielleria in platino a causa dell'eccessiva porosità presente. In secondo luogo, cercheremo di definire quali leghe dovrebbero avere migliori performance dal punto di vista della soddisfazione di un cliente, in particolar modo rispetto al grado di durezza. I risultati metallurgici saranno riportati per PtRy 950, PtCo 950 e Pttt 900 e varie leghe Pt950 contenenti elementi che sostanzialmente ne accrescono la durezza. Le caratteristiche da valutare comprendono porosità di ritiro, riempimento della forma, durezza ed effetti di post-lavorazione termica delle colate.

Lavoro precedente

La consapevolezza della necessità di una migliore performance per le leghe di platino risale alla metà degli anni novanta, quando una serie di pubblicazioni dell'industria dei gioielli ha definito preoccupazioni e possibili soluzioni. Gli autori di queste pubblicazioni hanno osservato, tra le altre cose, che le composizioni di lega esistenti fossero troppo duttili, troppo difficili da fondere, troppo porose e con tempistiche di lucidatura troppo lunghe. Una delle prime tra queste pubblicazioni è stata redatta nel 1995 quando James Huckle di Johnson Matthey ha scritto una delle prime analisi comparative sulle leghe di platino di fonderia¹. Le conclusioni di Huckle, riepilogate nella tabella di seguito, valutano le leghe convenzionali di oggi in termini di qualità relativa.

Tabella 1 *Qualità relativa delle fusioni*

Composizione della lega	grandi Anelli (40g)	di fidanzamento Anelli (10g)	Incastonature (< 1g)
4.5 Ru-Pt	Molto scarso	Scarso	Scarso
10 Ir-Pt	Buono	Molto buono	Soddisfacente
4.5 Co-Pt	Molto buono	Molto buono	Molto buono
15Pd-Pt	Molto buono	Soddisfacente	Soddisfacente
4.5 Cu-Pt	Scarso	Soddisfacente	Scarso

Fonte James Huckle, 1995 *Platinum Day Symposium*

Huckle sosteneva che la lega di Cu non fosse desiderabile data la relativa tendenza a formare una pellicola di ossido quando fuso, riducendo così la fluidità della lega. Il Cu formava anche uno strato di ossido sulla superficie 'come colata' e mostrava una reazione del metallo allo stampo non desiderabile. La lega Ru ha riportato voti bassi da Huckle a causa, di nuovo, della reazione allo stampo, della ruvidità della superficie e della tendenza al no-fill. Pur rivedendo, in modo relativamente favorevole, la qualità di fusione della lega Ir, Huckle finisce con lo scartarla ai fini della produzione dei gioielli date le relative basse qualità meccaniche. La lega Pd è stata scartata a causa di una porosità gassosa eccessiva e alla relazione del metallo allo stampo. La conclusione di Huckle, in termini di lega migliore per le fusioni, è stata a favore della Co-Pt 4.5 per le buone proprietà meccaniche che la contraddistinguono, la mancata ossidazione (diversa dalla leggera brunitura della superficie), buona fluidità e assenza di dannosa reazione del metallo allo stampo.

Tre anni dopo, nel 1998, l'autore e il noto designer di gioielli americano, Steven Kretchmer, hanno discusso sulla necessità di una nuova lega di platinoⁱⁱ. Kretchmer sosteneva che la PtRu 950 e PtIr 900 fossero duttili e difficili da lucidare e che la porosità fosse spesso presente a causa di un eccessivo ritiro al raffreddamento e alla solidificazione. Come designer, Kretchmer ne ha discusso sia dal punto di vista di un risparmio dei costi per il produttore sia dal punto di vista della qualità per il consumatore. Ha fornito una visione molto completa degli effetti che le scelte di una lega di platino hanno sull'intero ciclo del prodotto a valle. La pubblicazione di Kretchmer conteneva anche informazioni su una nuova e sostenibile lega più solida concepita per far fronte a tali problematiche. Sosteneva che una maggiore durezza migliorasse le tempistiche di lucidatura del 25% se rientrate nell'intervallo di Vickers di 135-145. Kretchmer ha, inoltre, sottolineato la propria preoccupazione rispetto alle leghe duttili in termini di soddisfazione del cliente, sostenendo che nell'ammirare il bel colore neutro del platino, i consumatori si lamentavano rispetto al fatto che la brillantezza non durasse e che le finiture a doppia tonalità svanissero rapidamente.

Nel 1998, altra pubblicazione di Todd, Busby, Landry, Linscomb, & Gilmanⁱⁱⁱ di Stuller, Inc, uno dei principali produttori di articoli per gioiellerie negli Stati Uniti, asseriva la necessità di una nuova lega di fusione. Hanno riconosciuto che le allora attuali leghe di fusione di platino in uso nel Nord America non fossero concepite specificamente per la fusione di precisione, quanto piuttosto per applicazioni con formatura a freddo come quelle storicamente utilizzate nella produzione di gioielli di platino prima della seconda guerra mondiale. Consapevoli del diffusissimo uso di PtCo 950 per la fusione di gioielli in Europa, si è deciso di contrapporre questa lega con quelle prevalentemente utilizzate negli Stati Uniti. La loro ricerca ha comparato la qualità di fusione rispetto a un certo numero di metriche per PtRu950, PtIr900 e PtCo 950.

Questa ricerca di Todd et al. per identificare una lega che performasse meglio di una PtRu e PtIr ha portato alla conclusione secondo la quale la PtCo fosse superiore dal getto grezzo alla finitura finale, entrambi in termini di tempistiche di lucidatura e di presenza della porosità. Da questo lavoro di ricerca è emerso che la PtCo 950 fosse la scelta evidente per le proprie specifiche applicazioni produttive e di prodotto, e a partire da questa opera, Stuller continua ad utilizzare questa lega prevalentemente nelle proprie operazioni di fusione.

Simili problematiche sono state riprodotte nel 2000, nella pubblicazione "Platinum Alloy Design for Investment Casting"^{iv} del metallurgista Greg Normandeau e del co-autore David Ueno. In questo documento, Normandeau e Ueno hanno discusso la necessità di una lega che adempiesse un lungo elenco di attributi desiderabili per la fusione di precisione. Tra queste, il riempimento dello stampo, la capacità di riciclaggio, la resistenza alla formazione degli ossidi o dei composti fragili, colore e aumento della performance rispetto all'usura. Normandeau e Ueno hanno, inoltre, osservato che la questione della durabilità del platino fosse divenuta una preoccupazione maggiore per i consumatori delusi dall'uso di una lega duttile scelta da un designer. Come nel caso di Kretchmer, è stata condotta un'analisi della performance della lega, iniziando dalla fusione e passando attraverso l'esperienza del consumatore. Normandeau e Ueno hanno inoltre sottolineato il fatto che un materiale dalla maggiore durezza non solo soddisfa il consumatore per una maggiore resistenza all'usura ma riduce anche sensibilmente i costosi tempi di lucidatura a mano per i produttori.

In breve, è chiaro che nessuno di questi autori sia molto soddisfatto della qualità di fusione e della resistenza all'usura delle principali leghe di platino utilizzate nel settore della gioielleria nel Nord America, durante gli anni novanta. In special modo, queste leghe restano le stesse oggi, ad eccezione della PtCo 950 che ha conquistato una notevole (seppur ancora minoritaria) quota di mercato. Sebbene vi sia certamente un numero maggiore di leghe disponibili sul mercato di quante ve ne fossero a metà degli anni novanta, nessuno ha cercato di risolvere tutte le problematiche che hanno storicamente afflitto produttori e consumatori. Anche la PtCo 950, considerata ampiamente la migliore lega di fusione in termini di caratteristiche di solidificazione, continua a ricevere bassi punteggi dai gioiellieri e dai rivenditori a causa della relativa ossidazione, delle proprietà magnetiche e della durezza minima rispetto alla maggior parte dei carati d'oro.

Spazio per migliorare

Nel 2007, la TechForm Advanced Casting Technology ha condotto un'inchiesta su dieci designer, gioiellieri ^v e rivenditori di alto profilo per determinare quale tipo di difetti di fusione del platino sono maggiormente riscontrati. Gli intervistati sono stati selezionati solo se con esperienza con un certo numero di fonditori negli ultimi anni affinché fosse possibile ottenere il miglior quadro delle problematiche principali dell'industria del settore. Inoltre, sono stati contattati solo soggetti con esperienza con una varietà di leghe di platino per essere sicuri di fornire una ampia rappresentazione trasversale di questo ambito.

Il difetto di fusione riportato maggiormente nella ricerca riguardava la micro-porosità sottostrato emergente in fase successiva nella fase di lucidatura. Sfortunatamente, è qui che i produttori hanno investito più tempo e denaro e dove hanno registrato il maggior numero di perdite finanziarie. Tra gli altri difetti riportati, la scarsa riproducibilità del dettaglio, la fessurazione, ampi vuoti interni e la porosità da ritiro sotto colami. Se lo scopo dell'indagine è stato lo studio approfondito dei difetti di fusione, nelle conversazioni con i produttori e i rivenditori è emersa una significativa quantità di prove ricche di aneddoti che riflettono preoccupazioni generali circa la durezza e la difficoltà per il platino di conservare la lucentezza. In base alle pregresse pubblicazioni e all'attuale feedback commerciale, appare chiaro che vi siano opportunità di significativi miglioramenti sia in termini di costo sia in termini di qualità delle fusioni di platino per l'ottenimento dei gioielli.

Il costo della qualità

Dato che il prezzo di mercato del platino è cresciuto da circa \$400 ad oncia a metà degli anni novanta a oltre \$1,400 alla data di questo documento, i costi per il produttore di una qualità scadente di fusione sono andati alle stelle. Ciò che avrebbe potuto rappresentare un mero fastidio nel 1995 è divenuta una spesa enorme sui conti economici di molti produttori di platino. Se il prodotto deve essere rifiuto, la perdita di metallo inerente nel processo di fusione si raddoppia. Quando la qualità superficiale è caratterizzata dalla reazione del metallo allo stampo e la porosità risulta pervasiva, si ha sostanzialmente una maggiore perdita di platino o la sua trasformazione in polvere affinata di quanto avverrebbe con una fusione di alta qualità. La densità estrema del platino indica che anche piccole quantità di metallo sottratte per perdita di prodotto nel processo di produzione hanno un costo enormemente alto.

Inoltre, volendo fare un paragone, la concorrenza di una manodopera poco costosa incombe vastamente sugli alti costi della manodopera dei gioiellieri in occidente. La perdita di efficienza assieme ad una scarsa qualità di fusione assume una nuova importanza quando le società cercano di competere con i prodotti provenienti dai paesi in via di sviluppo dove i salari sono inferiori. Dato che una fusione del platino di scarsa qualità può richiedere diverse ore di lavoro aggiuntive al ciclo di produzione per un singolo anello, i costi divengono in effetti sostanziali per i paesi sviluppati, indipendentemente dal fatto che si tratti di un produttori di grandi volumi o di un piccolo gioielliere al dettaglio.

Nell'insieme, una scarsa qualità di fusione associata a costi di manodopera elevati può abbattere sostanzialmente i margini dei produttori. Inoltre, i disegni saldati e fusi varie volte possono soffrire in termini di qualità del pezzo finito. Dato che il platino viene, in genere, acquistato come investimento della vita ad un prezzo superiore a quello di mercato, le aspettative dei consumatori sono naturalmente alte quando si arriva alla qualità e alla longevità rispetto all'usura senza danneggiamenti riguardanti il metallo.

Studi comparativi tra leghe

Ricercando nella letteratura degli studi pregressi, abbiamo riscontrato una sorprendente mancanza di metallografia o altra solida evidenza di comportamenti di solidificazione delle leghe, di supporto agli stessi. Lo studio di Todd et al., precedentemente nominato, conteneva una piccola campionatura del lavoro metallografico su sezioni di colame per PtCo 950, PtRu 950 e PtIr 900. Più recentemente, Klotz e Drago hanno pubblicato un vasto numero di sezioni trasversali metallografiche per PtCo950 e PtRu 950, negli atti del Simposio di Santa Fe del 2010^{vi}. Anche con questo più recente tentativo di generare dati controllati sulle caratteristiche della solidificazione per lega, resta molto per una comprensione esaustiva delle diverse chimiche di lega in una varietà di geometrie. I disegni dei gioielli stanno divenendo sempre più complessi con l'ampio utilizzo di strumenti CAD/CAM per la creazione di modelli, e si rende necessaria una più profonda comprensione di ciò che questo significhi per la qualità metallurgica interna delle fusioni di platino al fine di assicurare un prodotto di alta qualità. Le sezioni trasversali degli alberi di fusione o delle geometrie trasversali che non riflettono le realtà delle tipiche geometrie dei gioielli, seppur interessanti e informative, si limiteranno necessariamente all'ambito della relativa applicazione.

Lo studio metallografico che segue costituisce un primo passo verso le attuali geometrie dei gioielli, mantenendo ancora i fattori di stretto controllo necessari ad apprendere le informazioni critiche sui comportamenti di solidificazione delle leghe specifici delle diverse chimiche.

Studio comparativo sui comportamenti di solidificazione delle leghe

Le diverse leghe oggetto di questo studio sono state selezionate principalmente in base alla relativa frequenza di utilizzo in Nord America. La seguente tabella fornisce un elenco dei dati relativi alle proprietà basilari di queste leghe.

Tabella 2 Leghe di platino comuni in uso in Nord America – dati basilari relativi alle proprietà

Composizione della lega	Range di fusione* °C	Durezza HV come colato	Compreso negli Studi Parte I/II
950Pt 50 Co	1655-1680	135	I + II
950Pt 50 Ru	1780-1795	130	I + II
900Pt 100 Ir	1780-1790	110	II
950PtPd+	1620-1685	130 duttile, 220 dura 150 -200	I
950PtRu+	1710-1750	180	I
950PtCo+	1640-1670	175	II

* Il range di fusione è ottenuto sia dai dati riscontrati nella letteratura sia dalle informazioni dei fornitori della lega. Questi dati hanno origine dalle diverse metodologie di determinazione e, quindi, non sono sempre coerenti.

** Questa lega è invecchiata per precipitazione. Quindi, la durezza dipende dalle dimensioni trasversali e dai parametri del processo di fusione. Nei nostri test è stata osservata una ampia dispersione (come mostrato nel range indicato) con un valore medio di ~ 170 HV.

Lo studio sperimentale è stato suddiviso in due parti consecutive: I e II. La maggioranza degli esperimenti di fusione è stata condotta presso la TechForm Advanced Casting Technology, con l'impiego di macchine per colata centrifughe Linn High-Therm mediante riscaldamento ad induzione. Le macchine sono provviste di pirometri ottici per il controllo della temperatura e prevedono opzioni per la fusione ad aria o sottovuoto. Per questo studio sono stati utilizzati due sistemi di precisione: uno con guscio in ceramica e l'altro di precisione dentale ad alta velocità. È stata utilizzata una temperatura compatibile di 850°C oltre ad un gas di copertura argon su tutte le fusioni. Per assicurare una minima interazione tra la fusione e il materiale nel crogiolo sono stati utilizzati crogioli rivestiti di ossido di zirconio. Le temperature di colata sono state selezionate tra 1830 e 1900 °C, a seconda delle specifiche temperature di liquidus delle diverse leghe.

Le prove di fusione della Parte I sono state condotte allo scopo di raffrontare i comportamenti di solidificazione tra quattro 950 leghe di platino: 950 PtCo, 950PtRu e due esempi tipici di leghe di platino dure reperibili sul mercato designate come 950PtRu+ e 950PtPd+. Per le leghe commercializzate con nomi commerciali che non comunicano tutti gli elementi, utilizziamo semplicemente il segno più per indicare la presenza di elementi nascosti.

La geometria scelta per i test della Parte I è stato un tagliando di analisi molto uniforme e costante. Per le leghe ad alta fusione, questo tipo di geometria è ideale per favorire la porosità da ritiro poiché la solidificazione, anche su un pezzo colato pesantemente, forzerà la fusione per raffreddamento per alimentarsi quando non è in grado di continuare la solidificazione in modo direzionale. Le geometrie che transitano scorrevolmente e gradualmente da spesso a sottile in una unica direzione sono ottimali; quelle molto uniformi e pesanti a livello di massa sono note per complicare la solidificazione. L'ultimo tagliando di analisi è stato colato secondo le migliori pratiche per minimizzare la porosità di ritiro (colami multipli, spessi) e i campioni fusi sono stati sottoposti ad analisi metallografica presso il laboratorio Legor R&D. I risultati sono mostrati nel dettaglio nella Figura 1.

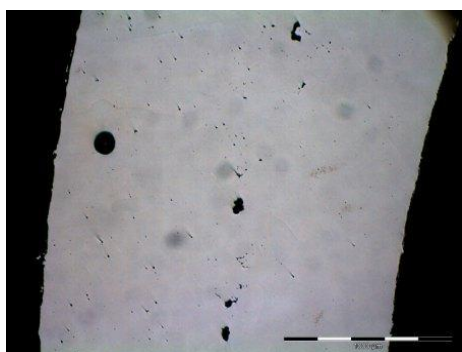


Fig 1a Pt950 Co

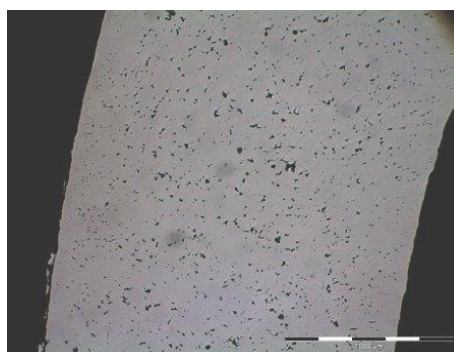


Fig 1b Pt950 Ru

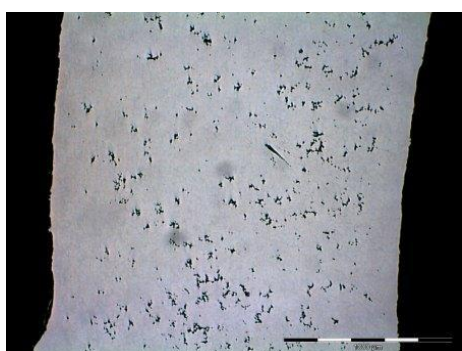


Fig 1c Pt950 Pd+

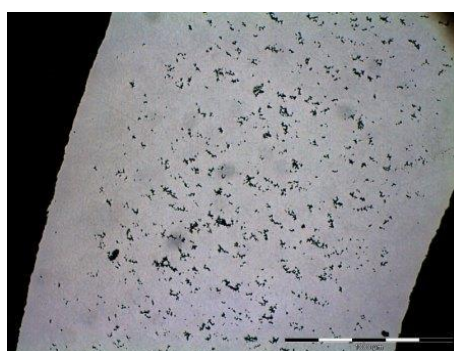


Fig 1d Pt950 Ru+

Risultati e conclusioni: Parte I

La PtCo 950 ha mostrato, fino ad ora, la più bassa quantità di porosità osservata, composta da piccole porzioni di porosità di ritiro (cavità dalle forme irregolari) e certa porosità gassosa (cavità sferiche) (Figura 1a). Alcuni dei pori sono stati localizzati lungo la linea centrale del corpo dell'anello. Al contrario, la PtRu950 ha mostrato una vasta porosità di ritiro risultata equamente uniforme nella distribuzione attraverso il pezzo (Figura 1b). Entrambe le leghe dure Pt 950 hanno mostrato un alto livello di porosità di ritiro rispetto a quanto osservato nella PtRu 950 (Figure 1c e d) dove la PtRu+950 ha mostrato performance, in certo modo, peggiori rispetto alla PtRu 950 per questo particolare modello. Una certa sovrapposizione con la porosità gassosa è presente anche nel caso della PtRy 950 oltreché nelle due leghe di platino dure, seppur in modo meno ovvio.

Più significativo è il livello sorprendentemente basso di porosità di ritiro per la PtCo 950 rispetto alla PtRu 950 e alle due leghe di platino dure. Questo risultato è compatibile con alcuni report della precedente letteratura summenzionata. In modo interessante, la presenza di grandi quantità di elementi indurenti o altri metalli a base non preziosa nelle leghe di platino dure a base di PtRu o PtPd non sembrano essere migliorative del comportamento di solidificazione e della suscettibilità alla porosità.

Come dimostrato da Klotz e Drago, le diverse proprietà termiche dei materiali di precisione possono influire sul comportamento di solidificazione. I relativi risultati dimostrano che per una data lega, geometria dei modelli e processo di fusione, la quantità di porosità di ritiro dipenderà in certa misura dal tipo di materiale di fusione di precisione. Tuttavia, la revisione della precedente letteratura oltreché dei risultati del presente studio suggerisce che notevolmente più potenti, a tale riguardo, sono le specifiche composizioni di lega risultanti in caratteristiche di solidificazione e proprietà fisiche considerevolmente diverse. Ciò, a sua volta, conduce ad una diversa suscettibilità alla porosità abbastanza indipendente dal materiale di precisione. In base ad un lavoro di simulazione al computer condotto su leghe d'oro e argento, si è giunti alla conclusione secondo la quale le proprietà di lega come la conduttività termica e il cosiddetto calore di solidificazione (il calore rilasciato dal metallo quando si raffredda) possono influire in modo significativo sulla porosità di ritiro. Valori alti per questi parametri rallentano il processo di solidificazione e consentono una solidificazione più direzionale, quindi meno porosità di ritiro. Sfortunatamente, le relative determinazioni delle proprietà dei materiali e il

lavoro di simulazione non sono ancora disponibili per il platino. Ciononostante, sulla base delle nostre osservazioni dei comportamenti di solidificazione delle leghe di platino assieme alle note proprietà termoplastiche del platino, è possibile teorizzare almeno che per questi parametri chiave esistono verosimilmente valori inferiori e, per le diverse leghe, sono presenti alcune differenze significative.

La fluidità delle leghe è spesso riferita come un beneficio per il riempimento della forma. Se questo è certamente vero, una fluidità più alta di una lega può anche risultare critica per l'alimentazione durante il processo di solidificazione al fine di minimizzare la formazione della porosità di ritiro. Le proprietà, comunemente note, di fluidità eccellente e riempimento della forma della PtCo 950 rispetto alla PtRu950 e ad altre leghe suggerirebbero proprietà di alimentazione migliori durante la solidificazione. Come osservato nella Figura 1, i risultati della PtCo 950 conducono ad un più forte sostegno della presente rivendicazione.

Infine, le integrazioni di lega di metalli di base utilizzate come agenti indurenti in genere spostano il range di fusione a temperature inferiori e portano ad un intervallo di fusione più ampio. Mentre l'ultimo aspetto può essere considerato utile per sostenere la solidificazione direzionale in quanto conduce ad un aumento dei tempi di solidificazione, è stato osservato anche come dannoso; il comportamento caotico si verifica durante la solidificazione che complica l'alimentazione, determinando dendriti intersecanti e microstrutture di solidificazione più complesse.

Nella ricerca di soluzioni agli alti livelli di porosità di ritiro osservati nelle leghe di platino dure, il lavoro di R&D al Legor lab ha confermato che quantità significative (2-3 peso %) di Ga e/o altri metalli di base sono in genere necessari per aumentare la durezza delle leghe di platino 950 nel range desiderato di > 160 HV, un numero coerente alle composizioni di lega e ai valori di durezza delle leghe di platino dure note ad oggi. È risultato, tuttavia, che integrazioni in paragone piccole (~ 1 peso %) alla PtCo950 possono già spostare i valori di durezza al di sopra di 170 HV. Di conseguenza, una lega con la relativa composizione PtCo+ 950 è stata inserita nella Parte II di questo studio sperimentale.

Risultati e conclusioni: Parte II

La Parte II di questo studio è focalizzata sul paragone delle caratteristiche di solidificazione della PtCo950, PtRu950, PtRu 900, e una nuova chimica per la lega PtCo+950. Per questa parte dello studio è stata utilizzata una nuova geometria di analisi ideata specificamente per favorire la solidificazione direzionale. Gli spessori graduabili sono indicati nella seguente Figura 2a e b, oltre alle posizioni degli attacchi di colame. La staffa, in origine non compresa nel disegno, doveva essere aggiunta ai fini della stabilità, durante il sezionamento con un seghetto da orafo. È opportuno notare che tale modifica della geometria può influire sulla solidificazione.

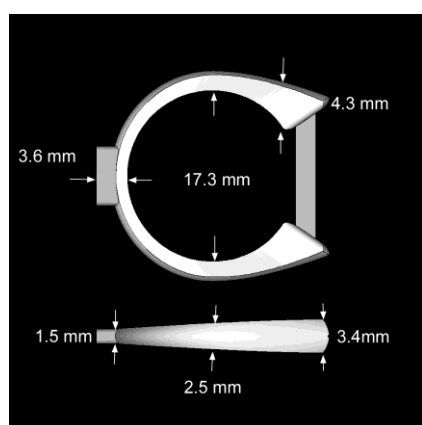


Fig 2a Colame a fondo singolo

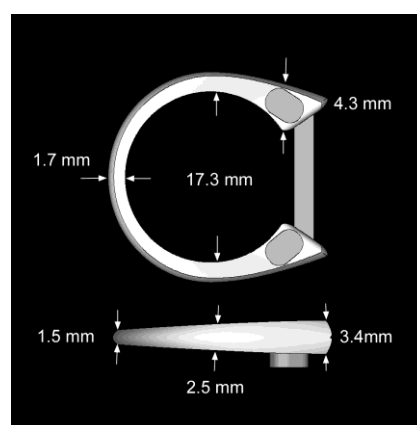


Fig 2b Colame a doppia estremità superiore

I parametri di fusione impiegati per i nostri esperimenti sono indicati successivamente. Sono stati selezionati allo scopo di dimostrare le differenze a livello di solidificazione che si manifestano attraverso l'utilizzo di diversi sistemi di colame, atmosfere di fusione e sistemi di precisione. Riguardo al colame, il colame singolo, che come da noi anticipato contrarrebbe il flusso della fusione alimentata alla colata, è stato selezionato per dimostrare geograficamente la pericolosità di utilizzare un tale sistema. L'approccio del doppio colame, considerato ottimale in una geometria solidificata direzionalmente, mira a ritrarre uno scenario di casi migliori per la solidificazione di ogni particolare lega.

Tabella 3 Parametri di colata – Parte II

PARAMETRI DI COLATA - PARTE II						
<u>Lega</u>	<u>Tipo di campione</u>	<u>Tipo di colame</u>	<u>Temperatura °C contenitore</u>	<u>°C Colata</u>	<u>Atmosfera</u>	<u>Sistema di precisione</u>
Serie A						
950PtCo	Corpo	Fondo singolo	850	1850	solo argon	guscio
950PtRu	Corpo	Fondo singolo	850	1900	solo argon	guscio
900PtIr	Corpo	Fondo singolo	850	1900	solo argon	guscio
950PtCo+	Corpo	Fondo singolo	850	1830	solo argon	guscio
Serie B						
950PtCo	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1850	solo argon	guscio
950PtRu	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1900	solo argon	guscio
900PtIr	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1900	solo argon	guscio
950PtCo+	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1830	solo argon	guscio
Serie C						
950PtCo	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1740	vac / argon	guscio
950PtRu	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1800	vac / argon	guscio
900PtIr	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1800	vac / argon	guscio
950PtCo+	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1700	vac / argon	guscio
Serie D						
950PtCo	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1850	solo argon	dentale alta velocità
950PtRu	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1900	solo argon	dentale alta velocità
900PtIr	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1900	solo argon	dentale alta velocità
950PtCo+	Corpo	Doppia estremità superiore	850	1830	solo argon	dentale alta velocità

* Le prove di categoria vac/argon sono state condotte su un macchinario che ha permesso la necessaria variazione dell'atmosfera di fusione. Date le dimensioni del crogiolo e la distanza della bobina di induzione, le temperature potrebbero non salire allo stesso livello delle altre prove. Il pirometro ottico legge una temperatura di colata significativamente inferiore tra ~ 1700 e 1800 °C, sebbene le temperature reali siano risultate con molta probabilità leggermente superiori alle temperature di fusione effettive per ciascuna lega.

Una prima visione generale dei risultati (mostrati nel dettaglio all'interno delle Figure 3-6) suggerisce che, indipendentemente dagli specifici parametri di fusione, la PtCo950 mostra performance migliori dal punto di vista della porosità di ritiro mentre la PtRu950 mostra performance peggiori. La Ptlr900 si avvicina molto alla PtCo950, mentre la lega dura PtCo+950 è leggermente al di sotto della PtCo950 con livelli ridotti ma costantemente superiori di micro-porosità.

Il paragone dei risultati della serie A, sistema di colame a fondo singolo, e della serie B, sistema di colame a doppia estremità superiore, dimostra semplicemente che colami in paragone spessi e multipli attaccati alle sezioni pesanti del modello sono obbligatori per ottenere livelli accettabilmente bassi di porosità nelle fusioni di platino 900 e 950. Con il sistema di colame a fondo singolo, tutte le leghe a parte la PtCo950 sviluppano ampie cavità nelle aree superiori spesse della geometria (Figure 3a-d). La porosità gassosa e di ritiro si accumula nelle aree dove solidifica alla fine. Una considerevole riduzione della porosità può essere ottenuta per tutte le leghe con l'utilizzo di un sistema di colame ben progettato (Figure 4a-d). In linea con i risultati della Parte I, la PtRu950 sviluppa ancora una quantità, in paragone ampia, di porosità di ritiro sporadica indipendentemente dal sistema di colame. I risultati della serie C, sistema di colame a doppia estremità superiore associato ad atmosfera di fusione senza ossigeno, non presentano risultati uniformi e conclusivi per tutte le leghe. Mentre è possibile osservare una considerevole riduzione della porosità nella PtRu950 (Figura 5b), il relativo miglioramento per la PtCo+950 è basso (Figura 5d) mentre il contrario è osservato per la Ptlr 900 (Figura 5c). Per la PtCo 950, la porosità è ridotta nella maggior parte delle aree, tuttavia nel corpo dell'anello si aprono due grandi pori gassosi (Figura 5a).

Dovremmo ammettere che la lettura potenzialmente inferiore e meno affidabile delle temperature di fusione per i campioni della serie C (vedere sopra) potrebbe aver contribuito all'apparente incoerenza dei risultati. Tuttavia, potremmo concludere con cautela che un'atmosfera di fusione scarsa associata a tempistiche eccessive allo stato fuso nel crogiolo possa contribuire ad un più alto livello di porosità in genere osservato per la PtRu 950.

Al contrario, il fatto che la porosità gassosa si manifesti ancora in quantità significative nella PtCo 950 e Ptlr 900, anche in un'atmosfera di fusione senza ossigeno, non supporta la visione secondo la quale l'assorbimento di ossigeno dalla fusione rappresenti un problema per la fusione del platino, almeno per quelle leghe. Invece i risultati della serie D, sistema di colame con doppia estremità superiore associato a sistema di precisione dentale 'ad alta velocità', suggeriscono che le condizioni di fuga del gas (aria o argon) attraverso il materiale dello stampo svolgano un ruolo importante (Figure 6a-d). In generale, una quantità inferiore di inclusione gassosa è stata osservata in tutte le leghe, specialmente nella PtCo950 e nella Ptlr900 nei campioni della serie D. Si ipotizza che il sistema di precisione dentale mostri una permeabilità superiore di un materiale da stampo a guscio denso, il che spiegherebbe una presenza inferiore generale di bollicine di gas intrappolate nelle fusioni della serie D. Mentre il gas viene apparentemente interessato, le caratteristiche tipiche tra leghe in termini di quantità e distribuzione della porosità di ritiro sono risultate le stesse per il sistema con stampo a guscio o di precisione dentale ad alta velocità.

È necessario anche osservare che le fusioni con sistemi di precisione dentale ad alta velocità mostrano una finitura superficiale più ruvida a causa della stabilità termica inferiore di questo sistema rispetto al sistema con guscio. Questa condizione, assieme al fatto che i sistemi di precisione dentale ad alta velocità sono, in genere, adatti solo per pesi di colata molto bassi, presenta significativi compromessi da considerare quando si utilizzano questi materiali in un ambiente produttivo.

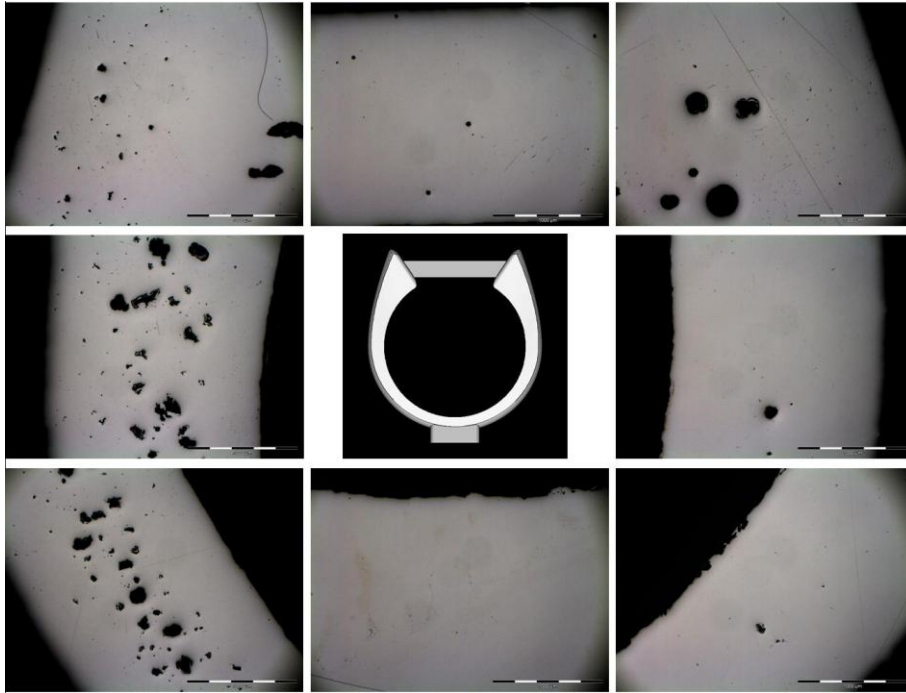


Figura 3a Pt950Co, Serie A , colame a fondo singolo

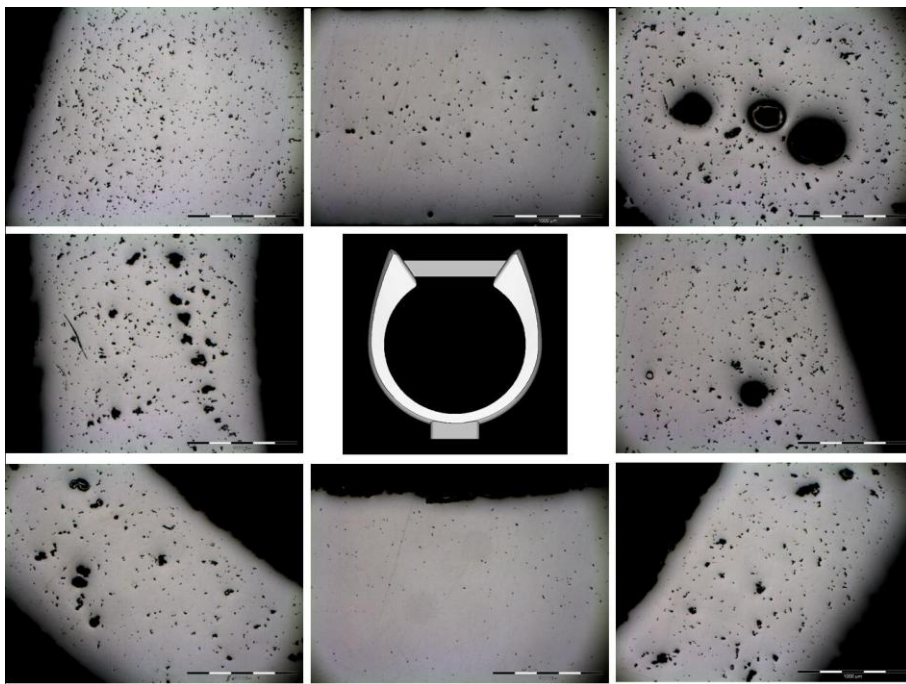


Figura 3b Pt950 Ru, Serie A, colame a fondo singolo



Figura 3c Pt900Ir, Serie A , colame a fondo singolo

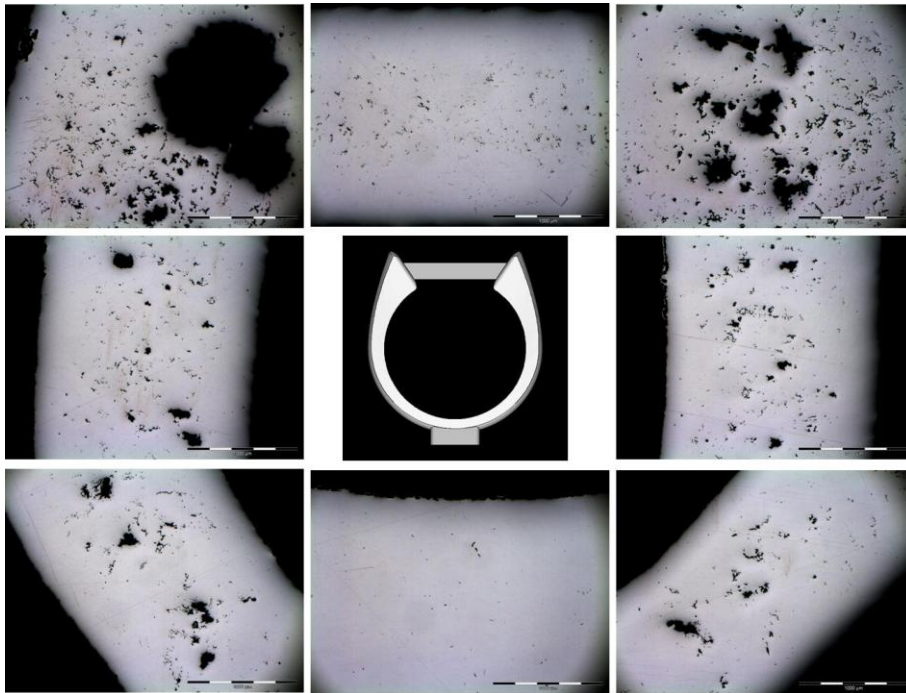


Figura 3d Pt950Co+, Serie A, colame a fondo singolo

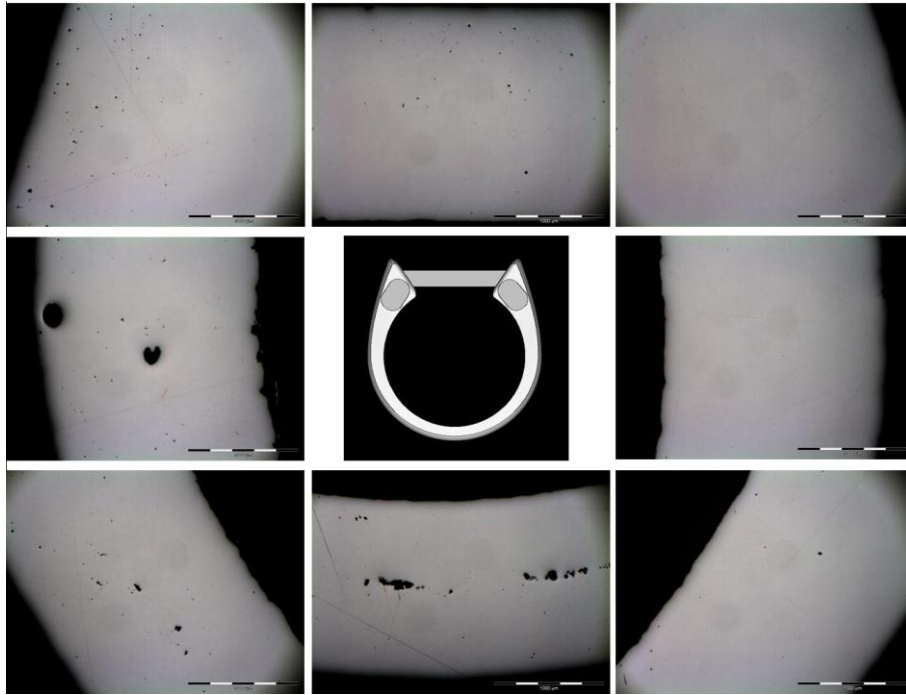


Figura 4a Pt950Co, Serie B, colame a doppia estremità superiore

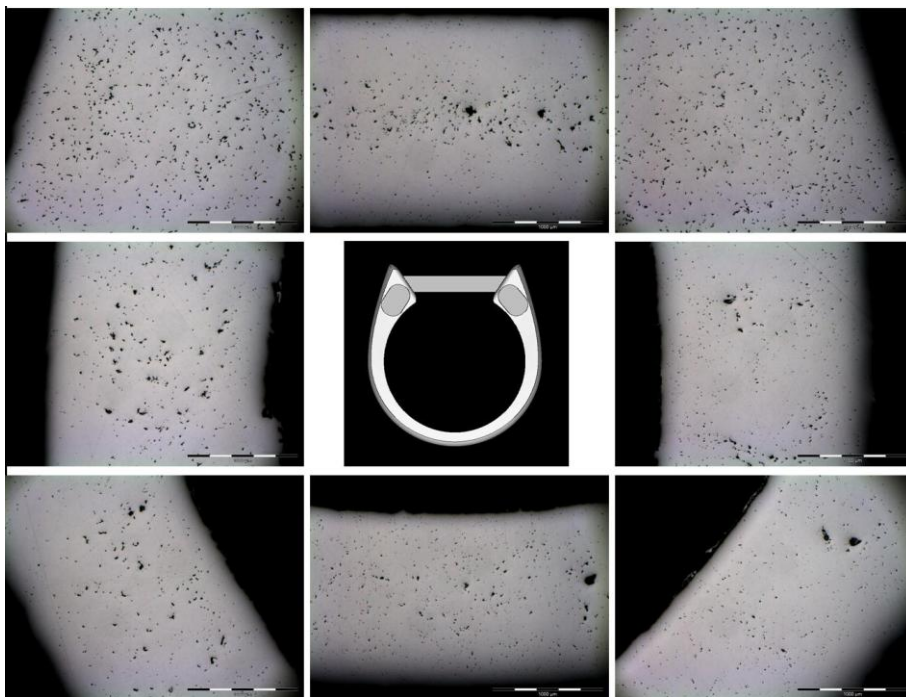


Figura 4b Pt950 Ru, Serie B, colame a doppia estremità superiore

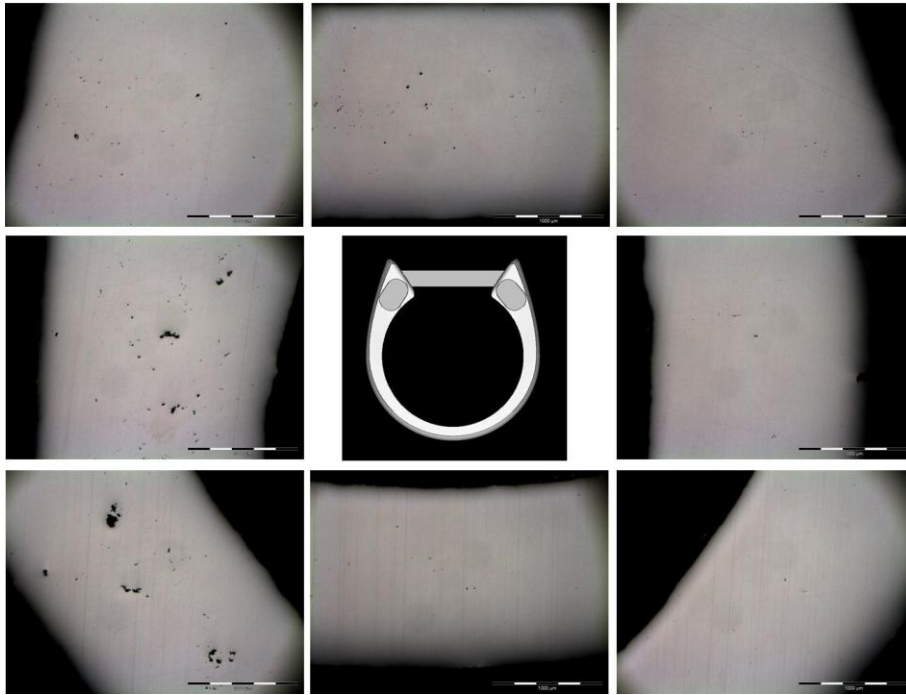


Figura 4c Pt900Ir, Serie B, colame a doppia estremità superiore

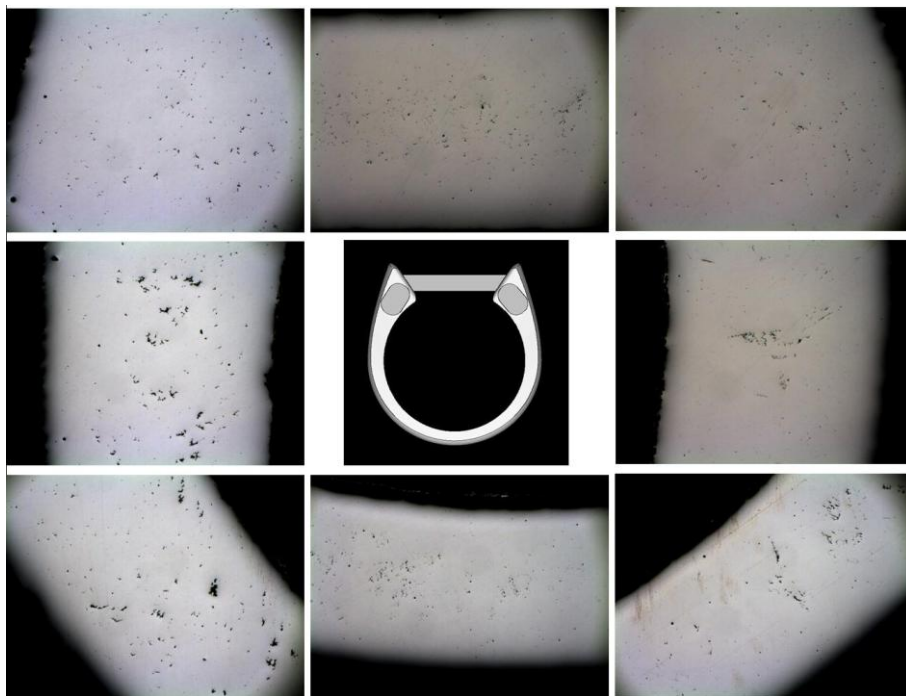


Figura 4d Pt950Co+, Serie B, colame a doppia estremità superiore

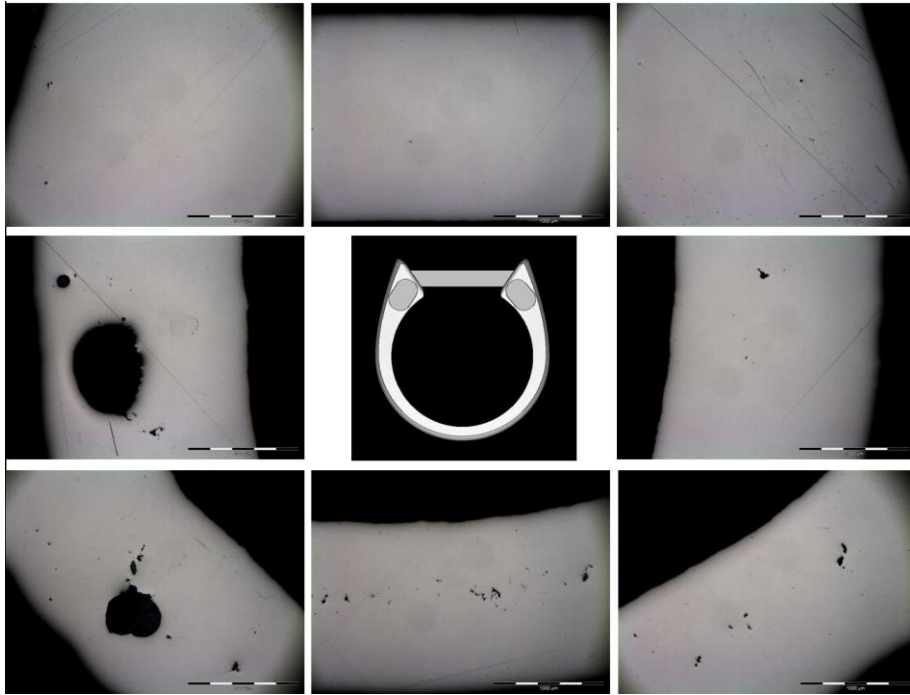


Figura5a Pt950Co, Serie C , Sotto vuoto/Argon

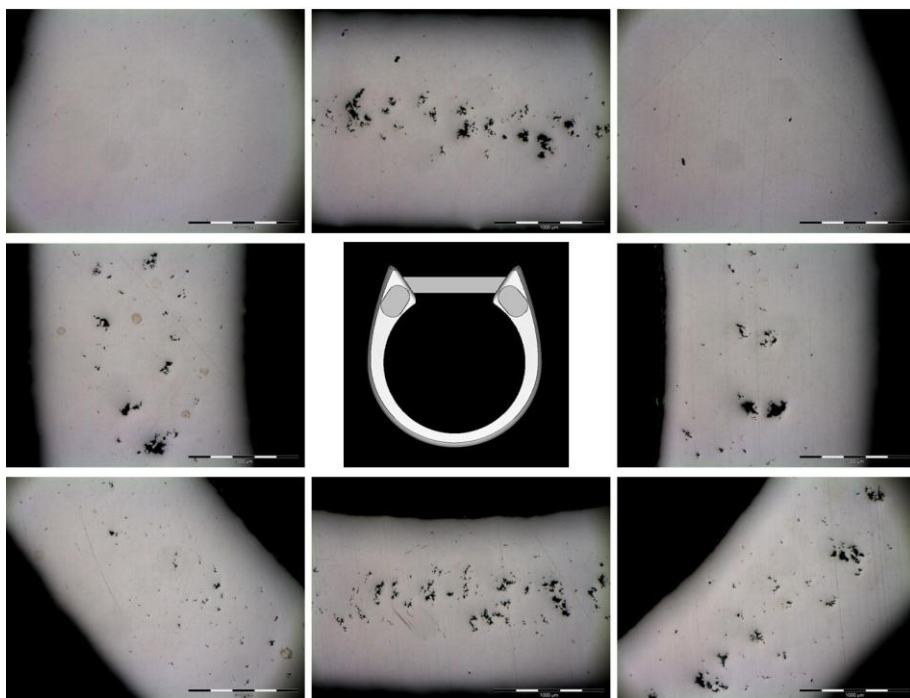


Figura5b Pt950Ru, Serie C , Sotto vuoto/Argon

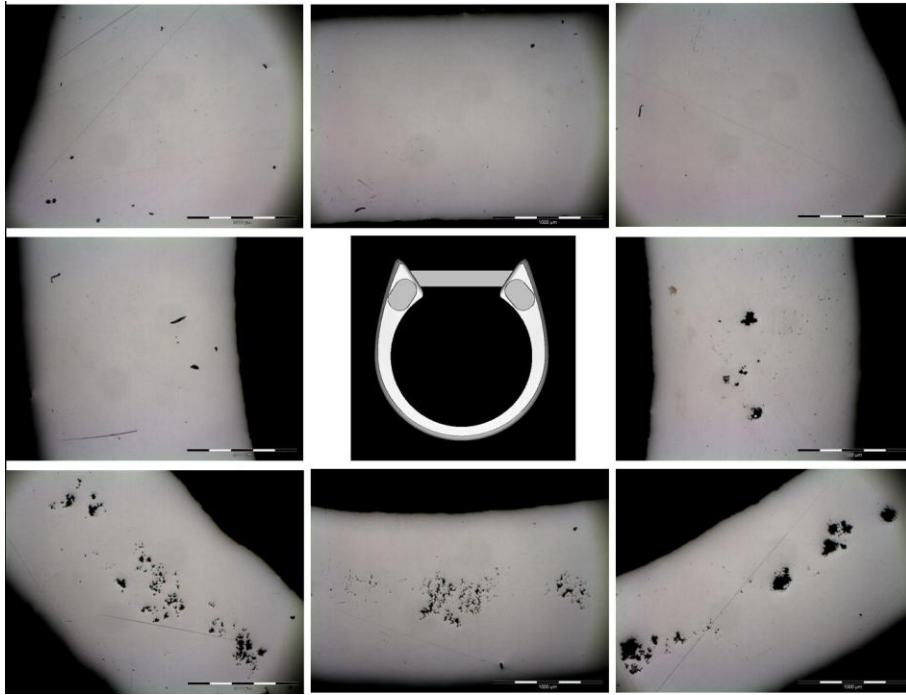


Figura 5c Pt900Ir, Serie C , Sotto vuoto/Argon

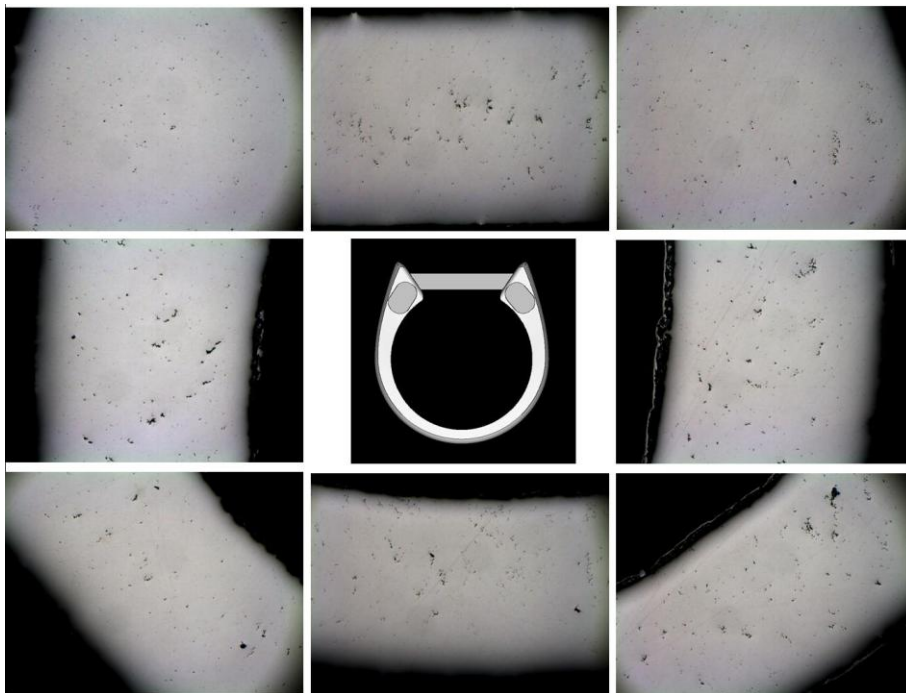


Figura 5d Pt950Co+, Serie C , Sotto vuoto/Argon

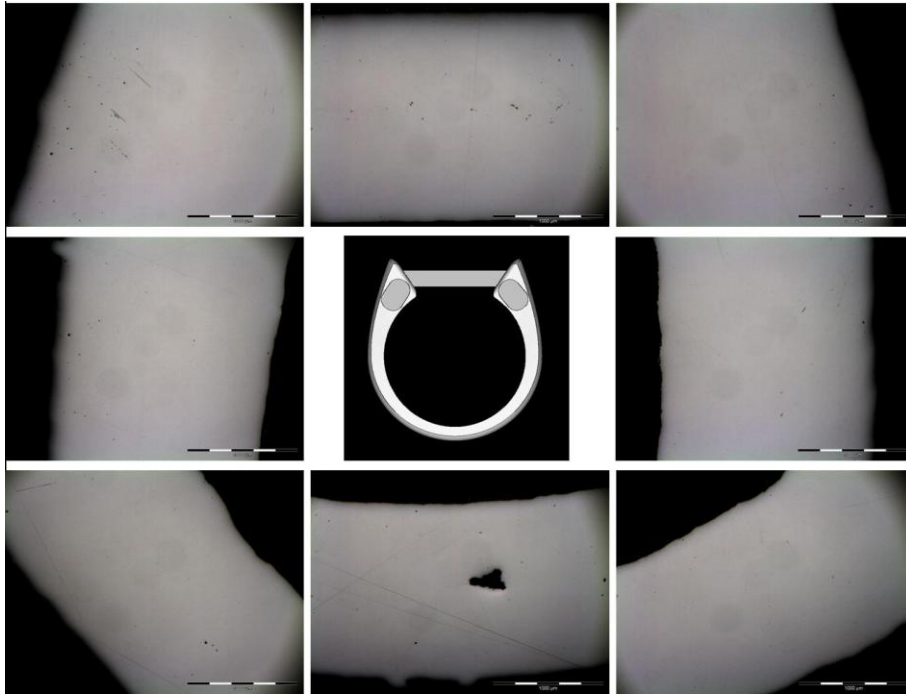


Figura 6a Pt950Co, Serie D , sistema di precisione dentale ad alta velocità

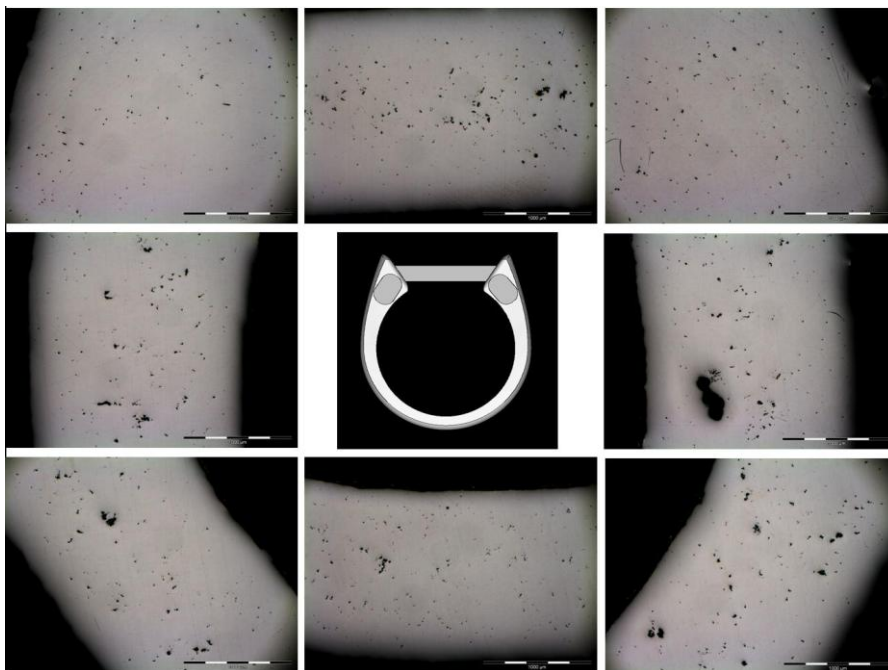


Figura 6b Pt950Ru, Serie D , sistema di precisione dentale ad alta velocità

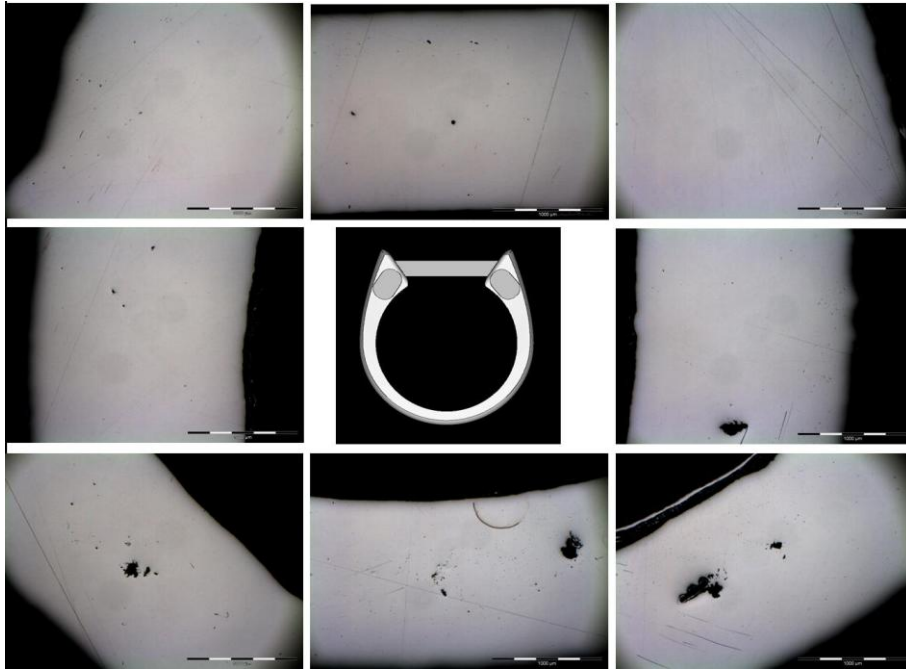


Figura 6c Pt900Ir, Serie D , sistema di precisione dentale ad alta velocità

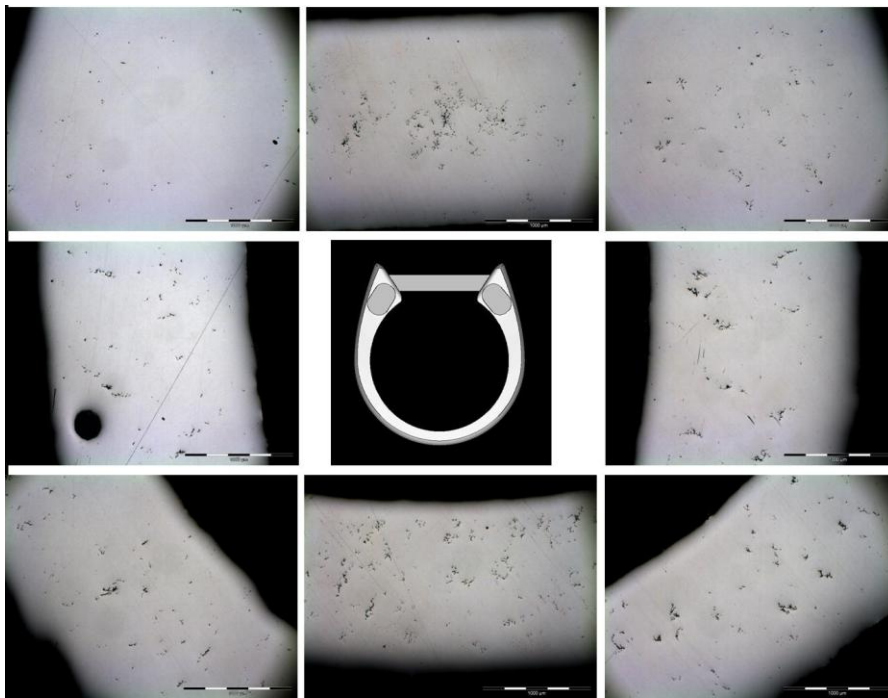


Figura 6d Pt950Co+, Serie D , sistema di precisione dentale ad alta velocità

Ulteriori proprietà della lega dura 950 PtCo+

L'analisi metallografica dettagliata fa auspicare che alcuni livelli di porosità quasi bassi come quelli della PtCo950 siano ottenuti in modo coerente in una lega significativamente più dura a base 950PtCo+. Le altre leghe di platino dure mostrano una maggiore tendenza alla porosità di ritiro uniforme e distribuita sulla superficie di lucidatura, mentre la PtCo+950 ne mostra una minore quantità che si sposta inoltre verso la linea centrale e resta lontano dalla superficie di lucidatura. Come commentato in precedenza, si ipotizza che il livello in paragone inferiore (~ 1 peso %) di integrazioni di lega necessarie ad aumentare la durezza della PtCo950 sia essenziale.

Altro aspetto altamente vantaggioso e molto interessante di questa lega è che con un'integrazione di lega di ~ 1 % la PtCo+950 perde le relative proprietà ferromagnetiche. In passato, il magnetismo ha contribuito in modo significativo alla bassa accettazione delle leghe PtCo 950, soprattutto in Nord America. Per le operazioni da banco che implicano calore, il platino con proprietà magnetiche comporta il rischio di contaminazione da ferro che può accidentalmente legarsi all'articolo di gioielleria. Questa caratteristica di per sé costituisce un vantaggio significativo in una lega a base di PtCo.

Riguardo alle ulteriori proprietà di fusione, i risultati aggiuntivi suggeriscono che le integrazioni di lega alterino leggermente la viscosità e la fluidità della PtCo950 cosicché temperature di colata moderatamente più alte (+20-30°C) siano necessarie per la lega dura PtCo+950 per ottenere risultati di riempimento della forma similmente buoni come nel caso della lega standard PtCo950. Entrambe le leghe contenenti Co soddisfano facilmente il modello di analisi a griglia rispetto alle condizioni di colata standard impiegate in questo studio, mentre la PtRu950 e la PtIr 900 vengono meno rispetto ad una completa analisi (Figura 7).

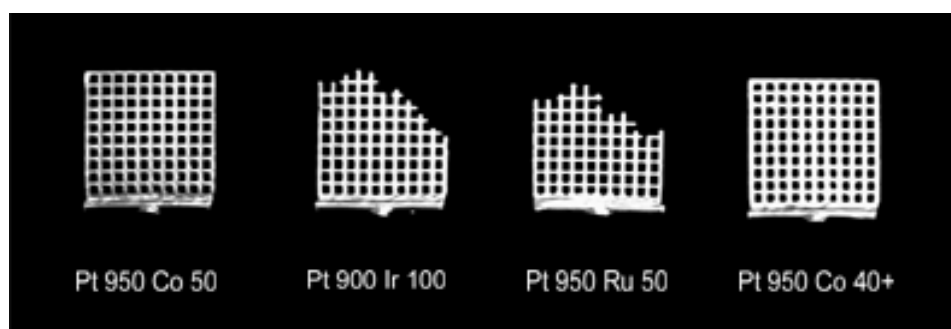


Fig7 Griglia di analisi

Altro importante aspetto per qualsiasi lega di platino è la relativa capacità di riciclo. Abbiamo testato una lega PtCo+950 conducendo un test di analisi dello 'stress' di rifusione consistente in cinque cicli di rifusione del 100% del materiale di scarto. Il metallo risultante è apparso completamente duttile, senza variazione alcuna a livello di durezza o aumento della porosità. In aggiunta, la lega è stata testata per osservare in che modo performasse con un sistema di precisione legato a fosfato standard in aggiunta al sistema a guscio e al sistema di precisione dentale ad alta velocità. In modo simile, livelli bassi di porosità sono stati ottenuti per le fusioni della geometria di prova presso il Legor R&D Lab, utilizzando un sistema di precisione con 1 parte di platino convenzionale, come indicato nella seguente Figura 8. Questa sezione è un esempio del primo ciclo di rifusione con il 100% del materiale riconvertito.

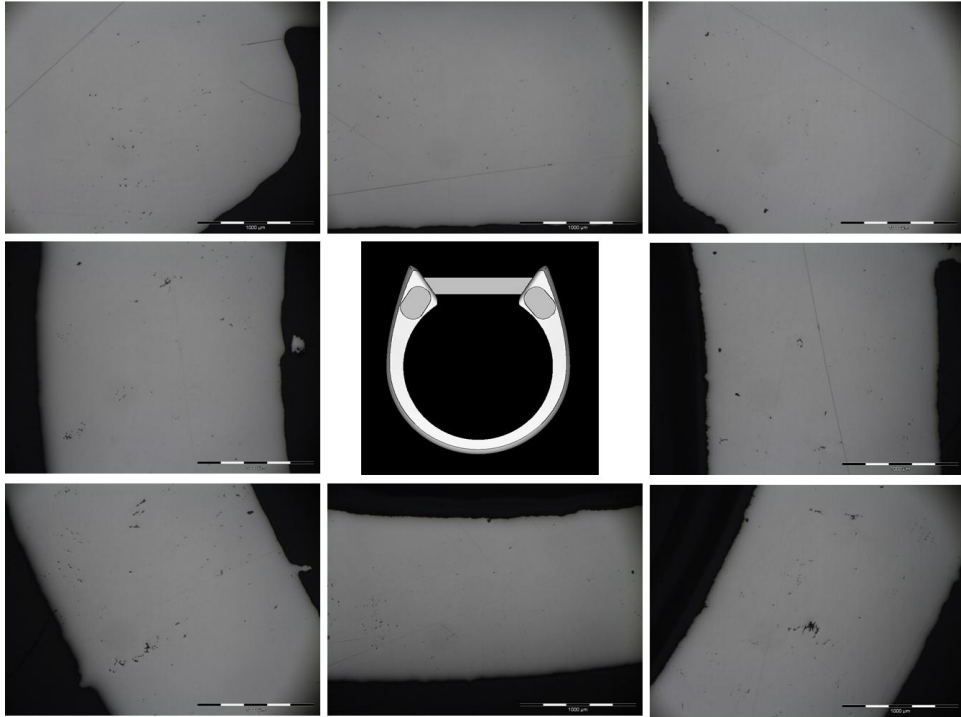


Figura 8 Pt950 Co+; 1x rifusione di 100% del materiale di scarto; sistema di precisione con 1 parte di platino

Infine, le microstrutture incise mostrate nelle FIGURE 9a e 9b documentano l'ottenimento di una dimensione del grano 'come colato' più piccola per la PtCo+950 rispetto alla PtCo 950. La microstruttura di solidificazione varia da grani in paragone grandi e colonnari per la PtCo950, a grani prevalentemente equiassiale e più fini per la PtCo+. Le microstrutture incise illustrano che la crescita dei grani colonnari porta a un tipico accumulo di porosità nella linea centrale nel caso della PtCo950, mentre la distribuzione di una microporosità più diffusa è associata ad una microstruttura con solidificazione equiassiale per la PtCo+950.

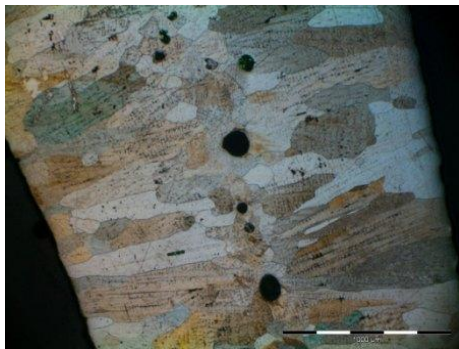


Fig9a struttura grani Pt950 Co

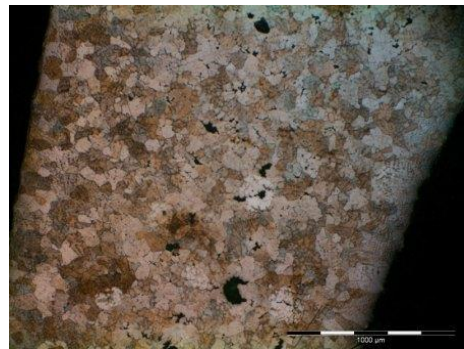


Fig9b struttura grani Pt950 Co+

Campionamento commerciale comparativo

Nella ricerca di una conferma delle caratteristiche di solidificazione identificate nei nostri esperimenti, abbiamo pensato fosse utile procedere ad un piccolo campionamento cieco delle fusioni prodotte presso i fonditori commerciali di platino in Nord America. Sono state selezionate tre diverse leghe: PtRu950, PtCo950 e PtRu+950, una delle leghe di platino dure. Gli stessi modelli di analisi della Parte II dello studio sono stati impiegati per fornire una buona corrispondenza nel confronto delle solidificazioni. Non sono state fornite istruzioni di colame, sono state lasciate a discrezione dei singoli fonditori che hanno dovuto scegliere il colame migliore per il disegno.

Di seguito sono mostrate le risultanti sezioni trasversali mostranti i modelli di solidificazione di queste fusioni (Figure 10a-c).

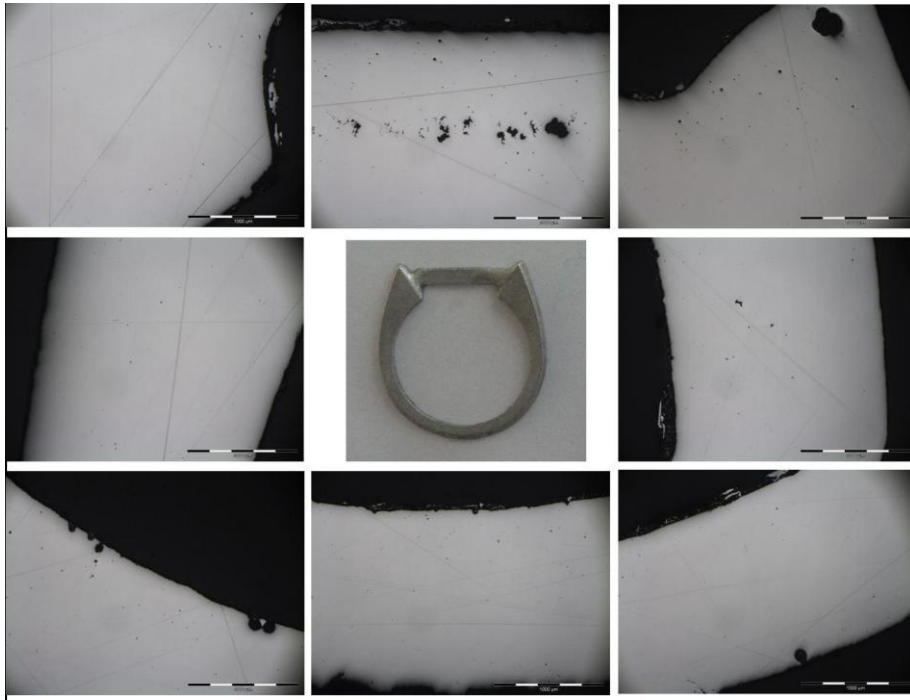


Figura 10a Colata commerciale Pt950Co

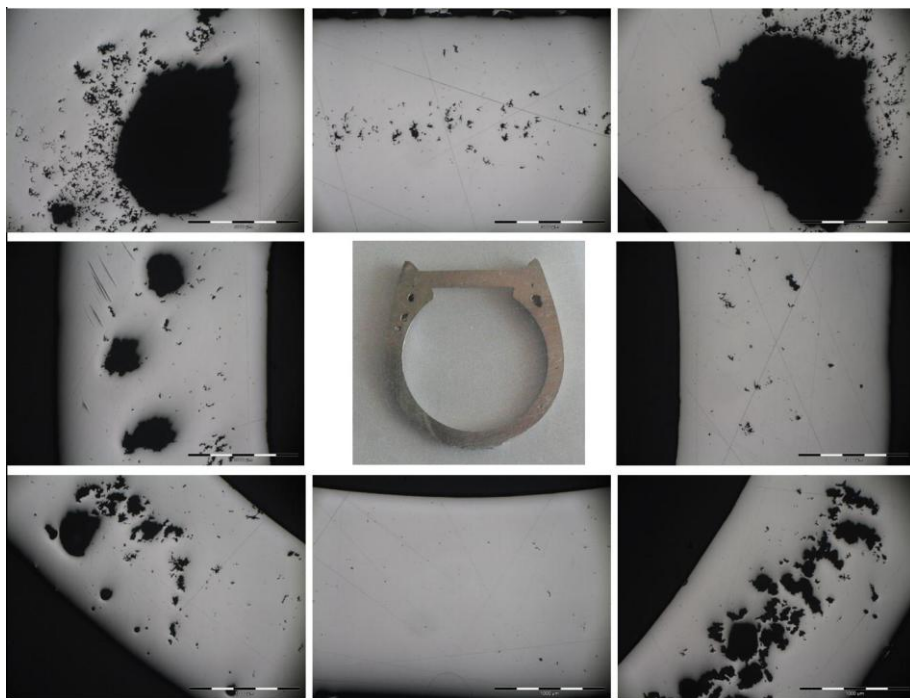


Figura 10b Colata commerciale Pt950Ru

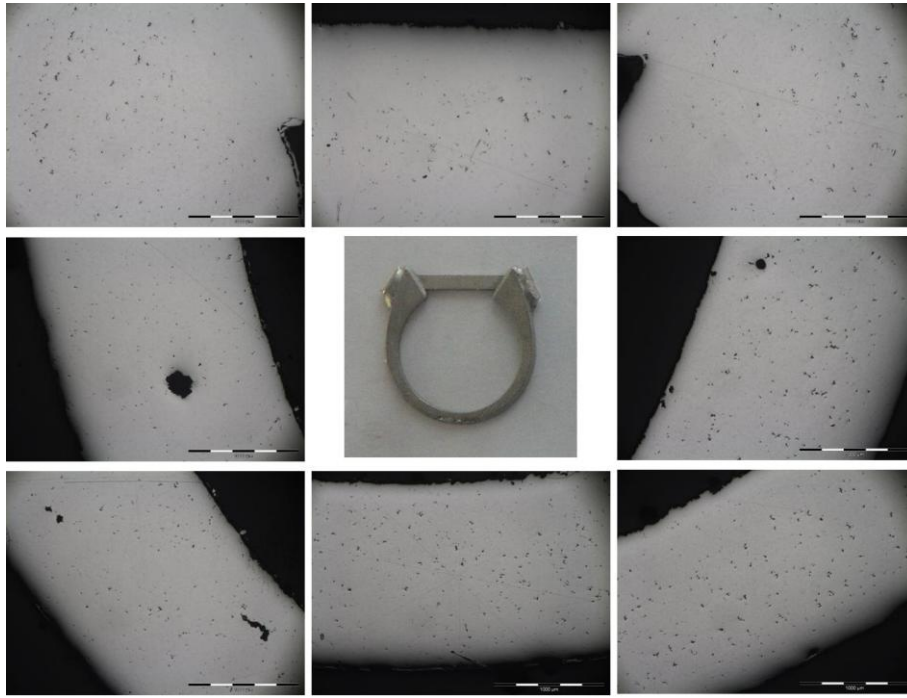


Figura 10c Colata commerciale Pt950Ru+

Come è possibile osservare, i risultati della PtRu950 sono catastrofici. Il fonditore scelto utilizza un colame a fondo singolo, un approccio rigorosamente ristretto all'alimentazione del metallo fuso nella fusione. Questo ha determinato un'enorme porosità in tutti i campioni, accumulata nelle aree marginali spesse (Figura 10b). Invece, per le leghe PtCo950 e PtRu+950 è stato utilizzato un sistema di colame migliore dai fonditori. Per la lega PtCo950 sono stati osservati alcuni pori di gas sferici accumulati lungo la regione della linea centrale oltreché nelle aree prossime alla superficie (Figura 10a). Nella fusione PtRu+950, è stata osservata una micro-porosità di ritiro diffusa in modo equamente uniforme sull'intero campione assieme ad alcune cavità più larghe (Figura 10c). A parte il sistema di colame, non ci sono pervenuti dettagli inerenti ai parametri di fusione e ai materiali dello stampo utilizzati dai diversi fonditori, per cui non è possibile discutere sulle differenze tra le leghe in modo scientifico. Conformemente ai nostri risultati, questo studio conferma che, indipendentemente dal sistema di colame e dal sistema di precisione, la chimica della lega può esercitare un'influenza significativa sulla quantità e la distribuzione della porosità e qualità 'come colata'.

Pressatura isostatica a caldo

Data l'estrema difficoltà di fusione delle leghe di platino prive di porosità di ritiro, è stato avviato un esperimento finale che ha implicato l'invio dei campioni di analisi delle nostre leghe della Parte II a Bodycote^{vi}, società di lavorazione termica, ai fini della relativa pressatura isostatica a caldo. Il trattamento termico ad alta pressione, comunemente noto sotto l'acronimo 'HIP', è un processo utilizzato regolarmente per la fusione di precisione nelle industrie dove la qualità costituisce un elemento critico, quali il settore medicale e aerospaziale. Il processo HIP implica la collocazione di fusioni in un recipiente ad alta pressione per un periodo di tempo specifico con gas inerte a elevate temperature. Il risultato è la densificazione che risulta da una compressione del metallo in un ambiente e ad una temperatura che consente l'aderenza delle cavità di ritiro interno.

Per questo esperimento abbiamo utilizzato la stessa geometria di analisi e le leghe della Parte II dello studio. L'intero albero di fusione è stato inviato in lavorazione perché il processo HIP sanerà la porosità non esposta, in alcun modo, alla superficie della fusione. Lasciare le fusioni sull'albero evita che eventuali porosità sui colami sia espulsa dal processo HIP della fusione. I parametri di fusione utilizzati per i campioni HIP sono gli stessi della Serie B, Figura 4. Sotto, sono indicate le sezioni metallografiche successive al ciclo HIP (Figure 11).

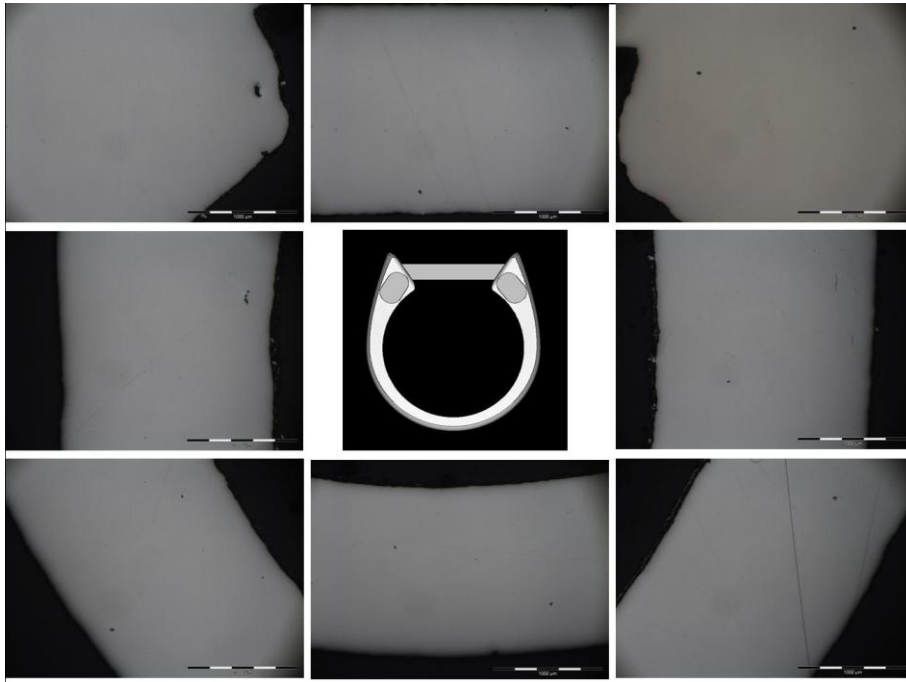


Figura10a Pt950 Co trattata con HIP

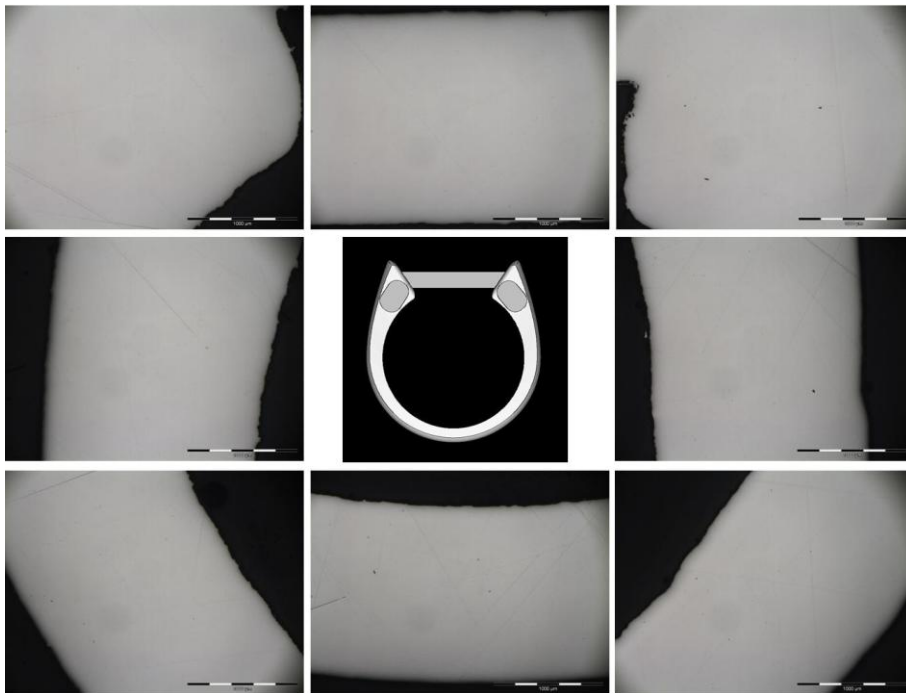


Figura 10b Pt950Ru trattata con HIP

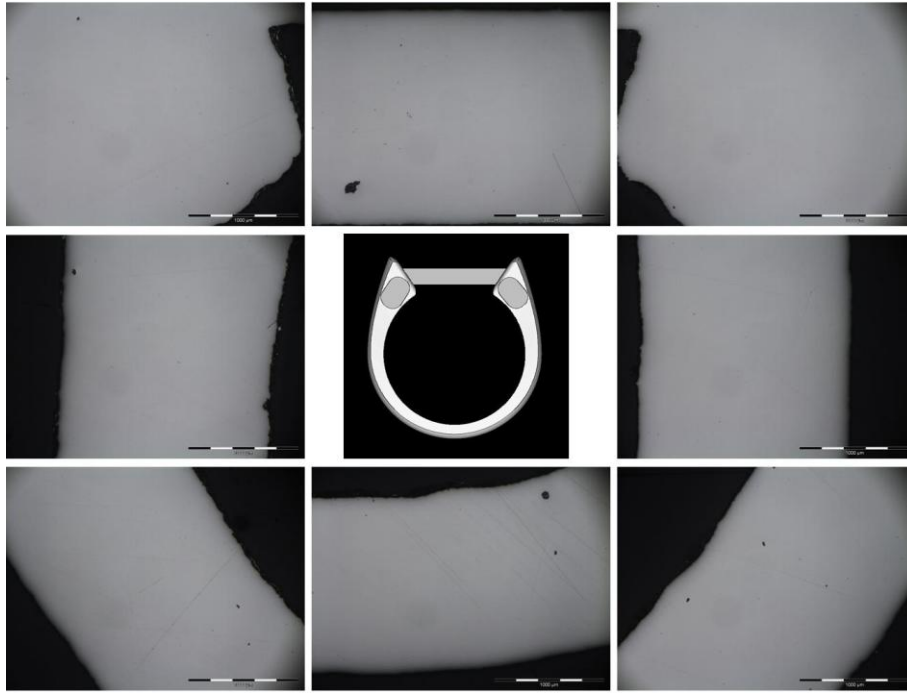


Figura 10c Pt900Ir trattata con HIP

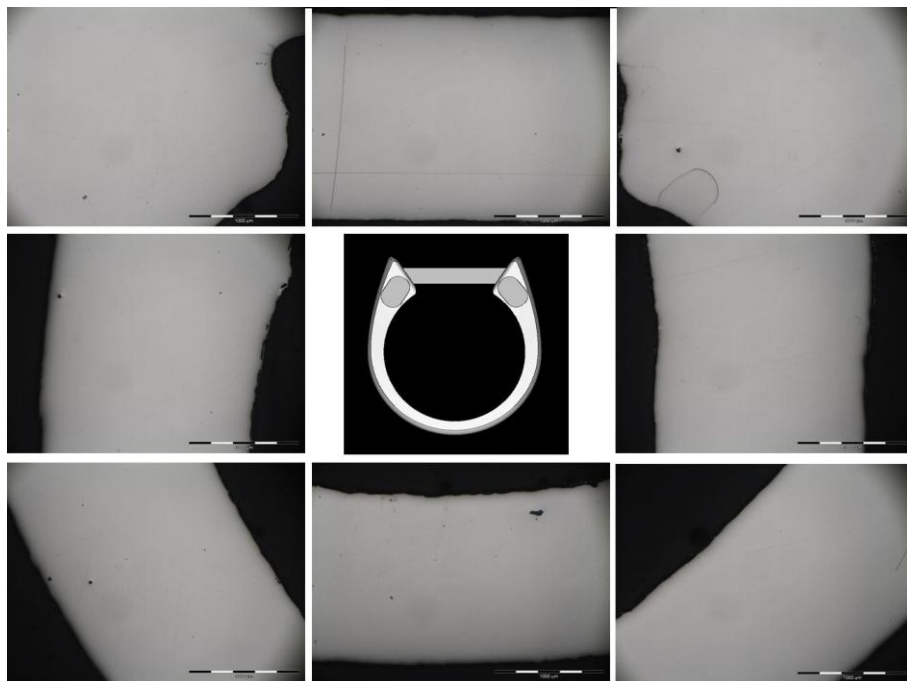


Figura 10d Pt950Co+ trattata con HIP

Con sorpresa, non resta quasi nessuna porosità dopo il trattamento HIP di tutte le fusioni. Eventuali micro-porosità sono state chiuse completamente, mentre alcune cavità più piccole ancora presenti sono probabilmente i residui di pori gassosi più grandi che non sono stati completamente chiusi durante il trattamento HIP.

Conclusioni

Le operazioni di produzione di gioielli sono fortemente influenzate dalle caratteristiche della particolare lega scelta per l'utilizzo. Nell'intero percorso che si estende dalla fusione all'esperienza del consumatore, la scelta della lega genera significative implicazioni sulla qualità e sui costi. I comportamenti di solidificazione producono un impatto diretto sul lavoro di lucidatura necessaria a finire un gioiello, ma vi sono anche altre caratteristiche, quali la capacità di riempimento ottimale delle sezioni e la durezza, che vengono ad influire sul costo di un prodotto di qualità da portare sul mercato.

Nel riesaminare il lavoro condotto da altri autori a metà degli anni novanta, è apparso chiaramente nel nostro studio di ricerca che si tratta in effetti di veri e propri pionieri nella comprensione delle leghe di platino fuse. Si sono fatti paladini delle leghe più dure per velocizzare la lucidatura e migliorare l'esperienza del cliente, distinguendo al contempo quali leghe avessero l'insita tendenza alla porosità di ritiro. Il lavoro metallografico svolto con questa ricerca conferma molte delle asserzioni fatte, con ulteriori dati controllati dimostranti che la 95Pt5Co non solo mostra un riempimento della forma superiore ma anche una porosità di ritiro inferiore rispetto alla 95Pt5Ru. In aggiunta, una maggiore comprensione dei livelli più alti di porosità di ritiro esistente nelle leghe di platino duro sul mercato ci aiuta anche a comprendere almeno una delle ragioni per le quali queste leghe non siano ancora state accolte dai produttori.

Attraverso la presente ricerca, speriamo di aver dimostrato che esistono soluzioni tecniche volte a migliorare la qualità delle fusioni di gioielli di platino. Esistono vere e proprie opportunità di un cambiamento positivo, sia che si tratti di una soluzione attraverso la solidificazione di leghe a base di PtCo o dell'utilizzo della pressatura isostatica per densificare e quindi indurire le leghe inclini al ritiro.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano rivolgere un ringraziamento speciale a Riccardo Bertoncetto del Legor R&D Lab che ha preparato, con meticolosità, le numerose sezioni metallografiche necessarie per la nostra ricerca, e Massimo Poliero, Group Director di Legor, per aver sostenuto questo progetto. Grazie anche a Kevin Mueller e Janice Collins di TechForm per aver condotto e assistito all'interpretazione dei nostri esperimenti di fusione con tale diligenza. Allarghiamo i nostri ringraziamenti anche a Steven Adler di A3DM per la consulenza fornita e i numerosi modelli CAD/CAM necessari allo svolgimento del nostro lavoro, e Joe Strauss di HJE per il suo sempre saggio parere tecnico. Un grande ringraziamento è rivolto anche a Bodycote Andover per aver provveduto generosamente all'elaborazione HIP della nostra ricerca. Ultimo ma non meno importante, è il ringraziamento che vorremmo rivolgere ai molti autori che ci hanno preceduto per il buon lavoro svolto in relazione alle presente materia, le cui osservazioni e soluzioni alle problematiche riguardanti la fusione delle leghe di platino hanno garantito una solida base per la nostra ricerca.

Riferimenti

ⁱ James Huckle, "Choosing Platinum Alloys to Maximize Efficiency," Platinum Manufacturing Process, Volume 1: 2-6.

ⁱⁱ Steven Kretchmer, "Innovative General Purpose Platinum Alloy Transforming Goldsmiths into Platinumsmiths," Platinum Manufacturing Process Volume 4: 35-38.

ⁱⁱⁱ Gregg Todd, Dennis Busby, Dena Landry, Matt Linscomb, Greg Gilman, "A Review of Cast Platinum Jewelry Fabrication Methods," Platinum Manufacturing Process Volume 4: 39-47.

^{iv} Greg Normandeau e David Ueno, "Platinum Alloy Design for Investment Casting Process," Platinum Manufacturing Process Volume 6: 41-49.

^v "The State of the Industry on Platinum Casting Defects", Survey by TechForm Advanced Casting Technology, 2007.

^{vi} Ulrich Klotz e Tiziana Drago, "The Role of Process Parameters in Platinum Casting," The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology 2010, ed. Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2010).

^{vii} Bodycote North American HIP, Andover, MA USA