

MICROFUSIONE A CERA PERSA: TECNOLOGIA E PROCESSI PRODUTTIVI

*E. Ferro**, *G. Zarrelli**

* INAIL - Direzione Generale - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

RIASSUNTO

Negli ultimi anni la tecnologia della fusione di precisione ha trovato nuovi campi di applicazione soprattutto nella realizzazione di forme complesse e sofisticate. Ciò ha comportato un aumento del numero di aziende che applica su larga scala il processo di microfusione a cera persa. A fronte di questa circostanza, sotto l'impulso delle richieste promosse da associazioni datoriali e di categoria, l'Istituto si è immediatamente attivato per offrire un servizio sempre più preciso e puntuale alle aziende, a tal fine è stato intrapreso uno studio dettagliato del ciclo tecnologico e da questo sono derivate utili indicazioni tariffarie sia per l'attività fusoria vera e propria che per quelle collaterali svolte nell'ambito del processo produttivo.

SUMMARY

During the last years the technology of micro-casting has found new applications fields, particularly those with complex and sophisticated shape. This lead to an increase in the number of companies which apply the lost wax micro-casting process on a large scale. This circumstance and the requests made by the associations of employers have taken the Institute to an immediate change in order to offer a better services to the companies. For this reason a detailed study of the technological cycle has been undertaken, and useful INAIL's Premium Tariff indications came out both for lost wax micro-casting and related activities.

1. CENNI STORICI

La tecnologia produttiva mediante fusione a cera persa è un processo che risale all'antichità e veniva applicato alla produzione di oggetti ornamentali, di oreficeria e di statue, anche di notevoli dimensioni; si pensi, a riguardo, ai famosi "Bronzi di Riace". Tale tecnologia era originariamente limitata all'impiego di metalli a basso punto di fusione, quali rame, oro, stagno e loro leghe. Tale tecnica si è tramandata, pressoché immutata, fino ai giorni nostri, ove trova largo impiego nelle fusioni artistiche ed orafe.

L'evoluzione tecnica ha consentito di ampliare il campo di impiego di questa tecnologia al settore industriale sia per la produzione di particolari in serie (mediante la fusione "a grappolo") sia per la possibilità di utilizzo delle leghe ferrose.

2. PROCESSO TECNOLOGICO

La necessità di produrre particolari meccanici in acciaio con geometria complessa, trova soluzione nell'applicazione del processo di microfusione a cera persa che costituisce una valida alternativa rispetto ad altri procedimenti tecnologici più tradizionali.

La microfusione a cera persa consente attualmente l'utilizzo di una vasta gamma di acciai, compresi gli altolegati e gli acciai inossidabili della serie 300/400/600.

La possibilità di realizzare getti con geometrie ad elevata complessità e praticamente senza limitazione di materiale, permette di produrre, in maniera economica, i più diversi particolari destinati a numerosi settori dell'industria come ad esempio alle macchine per l'industria alimentare, alle macchine automatiche per il confezionamento e l'imbottigliamento, alle macchine tessili, a componenti idraulici, oltreché particolari ornamentali di elevata finitura estetica.

La prima parte del processo produttivo prevede l'allestimento dell'attrezzatura per la produzione dei particolari in cera simili, nella forma, a quelli che saranno poi prodotti in metallo.

A tal fine possono seguirsi diverse strade a seconda della complessità della forma del pezzo. E' possibile realizzare uno stampo cavo, in bronzo o in ottone o in alluminio, (materiali facilmente lavorabili alle macchine utensili), entro cui colare la cera fusa che, una volta solidificata ed estratta dallo stampo, costituirà uno degli elementi del "grappolo".

L'eventuale presenza di sottosquadri, rientranze o cavità, se non eccessiva, può essere risolta mediante l'utilizzo di inserti mobili negli stampi. Per pezzi di forma complessa o che presentano numerosi recessi, specialmente di piccole dimensioni, si ricorre dapprima alla realizzazione di un modello in resina simile al pezzo da produrre e poi, su questo, si effettua una colata di gomma che, una volta solidificata consente l'estrazione del modello e presenta all'interno il calco del pezzo in cera da produrre. Talora la realizzazione dei modelli di cera non si effettua per mezzo di stampi ma mediante incisione al laser di blocchi di cera; questa tecnica permette di realizzare finiture estremamente accurate con una notevole definizione dei dettagli.

Il modello in cera viene costruito sulla base del disegno finale del particolare che si vuole ottenere, attuando però opportune maggiorazioni dimensionali per tenere conto del ritiro che subirà la cera all'atto della solidificazione e delle variazioni dimensionali del materiale metallico che costituirà il pezzo finito.

A causa delle caratteristiche bassofondenti della cera, della sua scarsa aggressività e della modesta azione erosiva che esercita, gli stampi destinati alla realizzazione dei modelli possono essere ottenuti con materiali a basso punto di fusione, quali ottone alluminio e bronzo, e dalle caratteristiche meccaniche modeste. Questo comporta che la vita degli stampi, poco soggetti ad usura, sia relativamente lunga ed inoltre l'impiego di materiali ad elevata lavorabilità meccanica abbassano ulteriormente il costo delle attrezzature di produzione.

Il limitato costo di attrezzatura rende il procedimento conveniente anche per serie poco numerose.

Le fasi occorrenti per costruire il getto in acciaio si svolgono secondo i seguenti punti:

1. Si ricavano i particolari in cera per mezzo di presse ad iniezione, utilizzando il relativo stampo, o per fusione a gravità o con la modellazione al laser.
2. I particolari in cera ottenuti in serie vengono saldati assieme al colatoio e a canali di alimentazione per formare il grappolo che è inizialmente tutto in cera.
3. Successivamente, una volta formato il grappolo, esso viene immerso in vasche contenenti un impasto di silice colloidale che ha anche lo scopo di favorire il distacco del metallo dal refrattario
4. In seguito ha luogo il rivestimento per spruzzatura di materiale refrattario in polvere.
5. Queste operazioni vengono ripetute più volte, impiegando polvere a base di quarzo a granulometria crescente, fino ad ottenere un rivestimento di refrattario dello spessore voluto e della necessaria consistenza.
6. Si provvede poi alla eliminazione della cera per semplice riscaldamento (evacuazione); in questa fase il refrattario, che ha al suo interno il calco in negativo dei pezzi da produrre, non ha ancora una consistenza tale da poter sopportare la spinta metallostatica del metallo fuso e, per sopperire a ciò, viene messo in forni di preriscaldamento ad alta temperatura (circa 1000 C°) dove subisce un processo di vetrificazione.

7. Contemporaneamente, con appositi forni fusori, il metallo viene fuso e portato alla temperatura richiesta per essere colato, a gravità, negli stampi di refrattario.
8. Avvenuta la solidificazione, il grappolo di metallo viene estratto dal suo rivestimento con sistemi manuali a percussione che sgretolano e spaccano il rivestimento di terra refrattaria. L'operazione si conclude con l'impiego di macchine sabbiatrici che puliscono il pezzo da ogni residuo di terra.
9. Vengono a questo punto tagliati i canali di alimentazione e le diverse materozze, liberando così i particolari in acciaio.

3. VANTAGGI DELLA TECNICA

La microfusione di precisione, permette al progettista di ottenere ottimi risultati tecnici e di realizzare le forme più diverse.

L'uso di getti in acciaio di precisione, oltre a garantire una consistente riduzione dei tempi di lavorazione e quindi dei costi rispetto alle lavorazioni tradizionali, consente oggi l'ottenimento di particolari di forma complessa praticamente nella forma definitiva e con costi di produzione relativamente contenuti.

Vengono pertanto eliminate o ridotte al minimo le lavorazioni successive di finitura.

Per ottenere i risultati migliori è necessario seguire i concetti base della fonderia, quali evitare gli spigoli vivi e le superfici piane ed estremamente ampie; è preferibile eventualmente ricavare delle nervature. Queste, in genere, oltre a mantenere inalterata quella che è la rigidità del pezzo, lo rendono più leggero, risolvendo in alcuni casi il problema del peso. Sono inoltre da evitare forti ingrossamenti di sezione, in modo da mantenere gli spessori il più uniformi possibili. Sono consigliabili ampi raggi di raccordo nell'incontro tra le superfici inclinate e perpendicolari.

Gli spessori minimi (circa 1,5 mm.) si possono ottenere su materiale di ottima colabilità o per superfici estremamente limitate. Nella norma gli spessori minimi che si possono realizzare sono di 2,5 mm. Inoltre è consigliabile avere le pareti con spessori uniformi e predisporre gli attacchi di colata su superfici piane nella parte più grossa del getto, in modo da poter avere un'alimentazione appropriata.

I fori devono avere un diametro minimo pari ai 2/3 dello spessore della parete. Si possono ottenere fori di un diametro minimo di 3 mm.

Sono sconsigliabili i fori ciechi. Se i fori richiedono tolleranze ristrette, si dovrà prevedere il sovrametallo di lavorazione; fori lunghi è bene scomporli creando degli spazi; in questo modo non si ricorrerà all'impiego di anime ceramiche.

Il peso ideale dei getti fusi a cera persa è, di norma, da pochi grammi fino a 700-800 grammi; con questo non è preclusa però la fattibilità di getti di peso superiore.

Grazie alla possibilità di impiego di leghe ferrose come acciai al carbonio bassolegati o altolegati, acciai inox serie 300 e 400, indurenti per precipitazioni, indeformabili da utensili, da valvole, superleghe a base Nichel e Cobalto, il progettista è in grado di scegliere la lega più adatta, aumentando così la qualità meccanica del getto.

La quantità richiesta non è un fattore determinante; la fusione a cera persa può essere conveniente anche per piccole serie, bisogna però saper valutare tutte le componenti che concorrono al prezzo finale, quali la costruzione dei modelli e della relativa attrezzatura.

Il getto fuso a cera persa ha una rugosità superficiale variabile di 3-5 micron, a seconda del tipo di materiale che viene impiegato.

4. LAVORAZIONI SUCCESSIVE E CONTROLLI

Altre fasi successive dei cicli appena descritti sono quelle che prevedono:

- un trattamento termico con successivo controllo micrografico e di durezza
- un'analisi chimica
- una serie di controlli dimensionali.

Il trattamento termico può influenzare notevolmente le caratteristiche finali dei getti e proprio per questo motivo, in genere, viene eseguito in atmosfera controllata con impianti fortemente automatizzati e con gestione computerizzata dei parametri di trattamento che garantiscono la completa ripetitività delle operazioni.

Il trattamento termico è soprattutto finalizzato a garantire l'assenza di decarburazione superficiale. L'analisi chimica del getto può essere eseguita tramite uno spettrometro a scintilla adatto a determinare la composizione chimica degli elementi solidi in campioni conduttivi.

Una scintilla ad alta tensione, unidirezionale, eccita e fa evaporare una porzione di materiale di cui occorre determinare la composizione.

La scintilla avviene tra il campione e un elettrodo di tungsteno. La luce emessa da questo processo contiene le radiazioni dei vari elementi presenti nel materiale da analizzare.

L'intensità di luce per ogni linea spettrale è proporzionale alla concentrazione dell'elemento che l'ha prodotta.

Scopo dello spettrometro è separare e selezionare le diverse linee spettrali che devono essere analizzate e quantificate.

A valle di tutte le operazioni sin qui descritte viene eseguito un controllo dimensionale per verificare che il pezzo prodotto abbia le specifiche richieste dal cliente.

5. PROBLEMATICHE CLASSIFICATIVE

Nell'ambito della produzione di particolari mediante la tecnica della microfusione a cera persa il personale addetto direttamente alle fasi fusorie del metallo è costituito da circa il 30% del totale della forza lavoro operante, mentre un altro 30% circa è impiegato nella realizzazione e nella manutenzione delle attrezzature. Il restante personale è suddiviso, in parti uguali, fra il reparto di realizzazione dei grappoli in cera e quello ove si svolgono le operazioni di finitura, pulizia confezionamento dei pezzi.

Nel corso degli ultimi anni l'Istituto ha visto crescere il numero delle istanze, da parte delle aziende del settore, volte a riferire ad autonome voci di tariffa le diverse fasi produttive in virtù della presunta mancata previsione tariffaria dell'attività svolta. Nel qual caso, secondo quanto previsto dall'art. 7 delle Modalità di applicazione delle Tariffe e del pagamento dei premi assicurativi di cui al DM 12 dicembre 2000, *occorre effettuare l'analisi tecnica delle operazioni fondamentali onde poterle ricondurre a specifiche previsioni tariffarie.*

In particolare, nell'ambito dell'ipotesi suesposta, il solo personale addetto all'attività di fusione andrebbe classificato alle voci 6112¹ o 6122², a seconda del materiale impiegato (ferroso o meno). Quello addetto alla realizzazione ed alla manutenzione degli stampi troverebbe corretto riferimento classificativo alla voce 6240³, mentre il personale addetto alle fasi di fusione

¹ 6112 gestione industria - Rifusione, getto, finitura di manufatti in ghisa o acciaio (*esclusa la lavorazione alle macchine utensili per la quale v. sottogruppo 6240*).

² 6122 gestione industria - Rifusione, getto; presofusione; estrusione; prima lavorazione ai laminatoi, magli, presse. (*compresa la finitura e l'eventuale lavorazione alle macchine utensili*)

Produzione di polveri metalliche.

³ 6240 gestione industria - Lavorazione alle macchine utensili per asportazione di materiale: lavori di tornitura, fresatura, trapanatura, ecc. (*produzione di alberi, mozzi, bielle, pistoni, canne per armi da fuoco, cuscinetti, flange, freni, ingranaggi, cambi, ruote tornite per veicoli, rubinetteria, stampi ed utensili per macchine operatrici, valvolame, viteria e bulloneria tornita, ecc.; comprese le lavorazioni di finitura*).

(Esclusi i lavori di fusione per i quali v. voce 6112).

della cera alla 2165⁴; infine, il personale addetto alle fasi di sbavatura e smaterozzata andrebbe classificato alle voci 6240, in quanto svolge operazioni effettuate mediante macchine utensili e il personale addetto alla molatura ed alla granigliatura alla voce 6281⁵.

Sulla base di quanto illustrato nel precedente paragrafo, è evidente che la tecnologia produttiva mediante microfusione a cera persa è un processo fusorio a tutti gli effetti e pertanto ricade appieno nelle previsioni tariffarie appena esposte (6112 per i materiali ferrosi, 6122 per gli altri materiali) e ciò non solo per quanto attiene le fasi strettamente connesse alla fusione ma anche per la preparazione e la manutenzione degli stampi, e per la realizzazione dei modelli in cera: queste ultime fasi sono infatti da considerare attività complementari al processo fusorio che non potrebbe aver luogo senza l'approntamento di stampi e modelli.

L'operazione di sbavatura consiste nella rimozione, dal getto, del mozzone della materozza, dopo che questa è stata asportata, e nell'eliminazione di bave ed imperfezioni superficiali che il pezzo potrebbe presentare. Questa operazione può essere realizzata secondo diverse modalità: mediante una macchina sbavatrice, che opera in maniera analoga ad una fresatrice e, quindi, per asportazione di truciolo; oppure mediante una smerigliatrice manuale (c.d. "frullino") oppure con una mola da banco spostando il pezzo manualmente.

Questa operazione non è sempre indispensabile e, talvolta, il pezzo risulta finito non appena privato della materozza. In seguito può essere eventualmente sottoposto ad un'operazione di finitura superficiale mediante granigliatura o pallinatura o burattatura. A riguardo si fa presente che la sbavatura viene spesso realizzata con mezzi manuali o con mole da banco, che consentono evidentemente tolleranze piuttosto grossolane.

Queste operazioni, a prescindere dalle modalità con cui vengono eseguite, sono evidentemente espresse nelle declaratorie delle voci 6112 e 6122 della Tariffa dei Premi di cui al D.M. 12.12.2000, in quanto operazioni di finitura.

Si sottolinea come le operazioni di finitura debbano essere considerate ben distinte dalle lavorazioni che, successivamente, possono essere apportate al pezzo con altre macchine utensili. Queste ulteriori lavorazioni, che possono essere la rettifica di superfici, l'alesatura di fori, la lamatura, permettono di ottenere superfici caratterizzate da tolleranze più ristrette e da finiture superficiali di grado superiore rispetto a quelle ottenibili con la microfusione.

Si realizzano, in definitiva, ulteriori e più raffinate lavorazioni meccaniche ben distinte da quelle grossolane di sbavatura. Attualmente queste ulteriori lavorazioni alle macchine utensili sono comprese nella voce 6122 mentre non lo sono nella 6112; sicché qualora vengano svolte sono suscettibili di un ulteriore riferimento classificativo alla voce 6240 solo nel caso in cui i materiali da lavorare siano ferrosi.

La scelta di operare la sbavatura con una macchina sbavatrice è dettata non tanto dalla necessità di ottenere superfici con tolleranze più ristrette, quanto dalla esigenza di velocizzare il processo.

Al contrario, le operazioni che possono essere eseguite in seguito sul getto (rettifica, tornitura, alesatura ecc.), una volta smaterozzato e sbavato, non possono venire eseguite se non con le macchine di precisione già menzionate.

E' peraltro evidente che, qualora le operazioni di sbavatura (che sono operazioni di asportazione di materiale) vengano eseguite da ditte terze, la corretta classificazione deve essere fatta alla voce 6240 se effettuata con macchina sbavatrice, ed alla voce 6281 se effettuata con smerigliatrici manuali o con mole da banco.

⁴ 2165 gestione industria - Cera vegetale ed animale (*estrazione, fusione, imbiancamento, raffinazione, fabbricazione di candele, lumini, ecc.*); lucidi e creme per oggetti, calzature, ecc.; prodotti a base di cera o sostanze alternative per il trattamento di pavimenti, mobili, carrozzerie, ecc.

(Per i prodotti destinati alla litografia v. voce 2164)

⁵ 6281 gestione industria - Arrotatura e pulitura (*affilatura, molatura, lucidatura, levigatura, sabbiatura, smerigliatura*).

Del resto, anche se non fosse esplicitata nella declaratoria della voce, l'operazione di sbavatura sarebbe senz'altro sussidiaria alla lavorazione principale.

Infatti tale lavorazione è caratterizzata da proprio rischio specifico ed è necessaria al completamento del pezzo, pur non essendo indispensabile all'attività di fusione. La sbavatura, del resto, concorre senz'altro al conseguimento delle finalità aziendali, quantomeno in termini di qualità del prodotto.

BIBLIOGRAFIA

D.M. 12 Dicembre 2000: Nuove tariffe dei premi per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali delle gestioni: Industria, artigianato, terziario, altre attività e relative modalità di applicazione.

FMP www.fmp-spa.it (10 ottobre 2003)

MICROFOUND S.R.L. -FONDERIA DI PRECISIONE A CERA PERSA- www.microfound.it (10 ottobre 2003)

PIOLETTI B.: Tecnologia dei metalli.

SECCIANI A., VILLANI G.: Produzione metalmeccanica voll. 1-2-3.