

I bronzi all'alluminio

Resistenza meccanica, durezza, bassa permeabilità magnetica, resistenza all'usura, alla fatica e alla corrosione: ecco i motivi che decretano il successo dei getti in bronzo all'alluminio. In questo articolo vengono esaminate anche le problematiche della fusione e della colata, determinanti per l'ottenimento di getti di qualità

Le leghe di rame in cui il principale elemento aggiunto è l'alluminio vengono generalmente chiamate bronzi all'alluminio (o anche cuprallumini). L'alluminio ha un tenore che varia dal 5 al 14% e molto spesso è accompagnato da ferro, silicio, nichel o manganese. Sono caratterizzate da eccellenti proprietà meccaniche e da una altrettanto eccellente resistenza alla corrosione; quest'ultima è dovuta alla formazione superficiale di una patina protettiva ricca in ossido di alluminio che ha la capacità di generarsi in tempi molto rapidi: è

sottile, molto solida e ben aderente alla lega sottostante. Per questo motivo i bronzi all'alluminio vengono impiegati in ambienti molto aggressivi come quello marino, sotto condizioni di stress meccanico che altri metalli o leghe comuni non sarebbero in grado di sopportare. È da segnalare che sono le leghe di rame con la migliore resistenza al tarnishing (perdita di lucentezza).

Molto apprezzate sono anche altre caratteristiche, tra cui la resistenza alla corrosione per fatica, la durezza e la resistenza all'usura. I bronzi all'alluminio (che per comodità chiameremo anche CuAl) possono essere sommariamente divisi in 4 grandi famiglie:

- quelli contenenti meno dell'8% di alluminio, aventi una struttura cristallina α (cubica a facce centrate, la stessa del rame): mantengono una buona duttilità e sono adatti per lavorazioni a freddo;
- quelli contenenti alluminio dall'8 all'11% con struttura α - β , spesso contenenti nichel e ferro che migliorano la resistenza meccanica; la comparsa della fase β (cubica a corpo centrato) aumenta la durezza. Sono indicati per le lavorazioni a caldo e fusioni;
- quelli contenenti silicio (fino al 2%), che aumenta la durezza e la lavorabilità all'utensile. Hanno una bassa permeabilità magnetica;
- quelli contenenti manganese. Sebbene non così "forti" come gli altri, vantano eccellenti proprietà

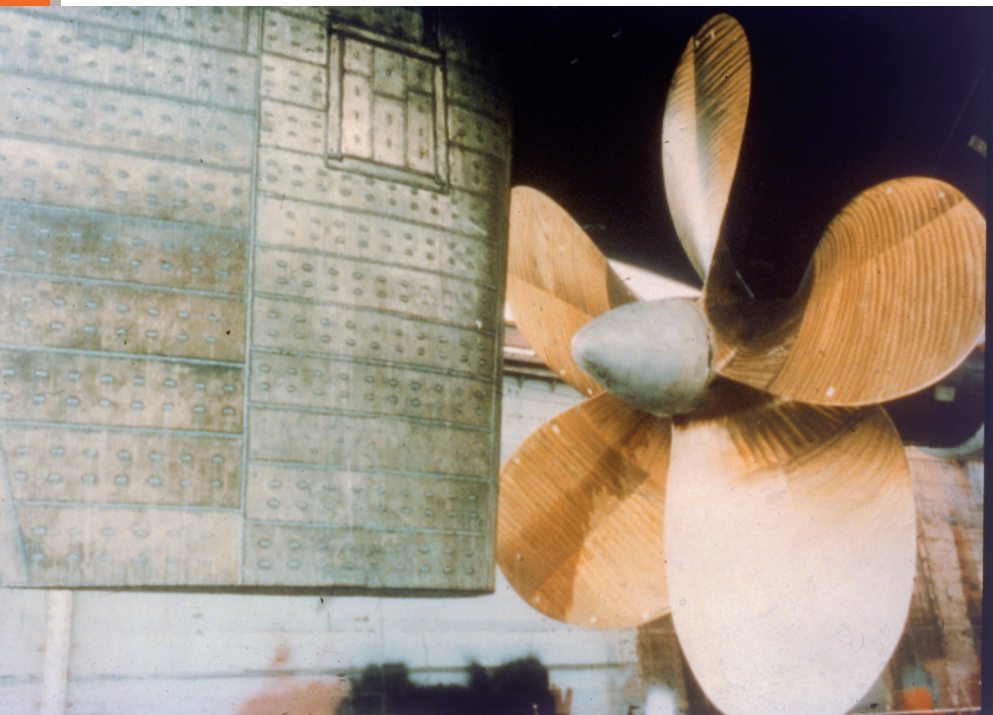


Fig. 1 I bronzi all'alluminio con nichel hanno ormai soppiantato quelli con manganese, grazie alla maggiore resistenza alla fatica e alla cavitazione. Si possono fare getti anche di 70 t.

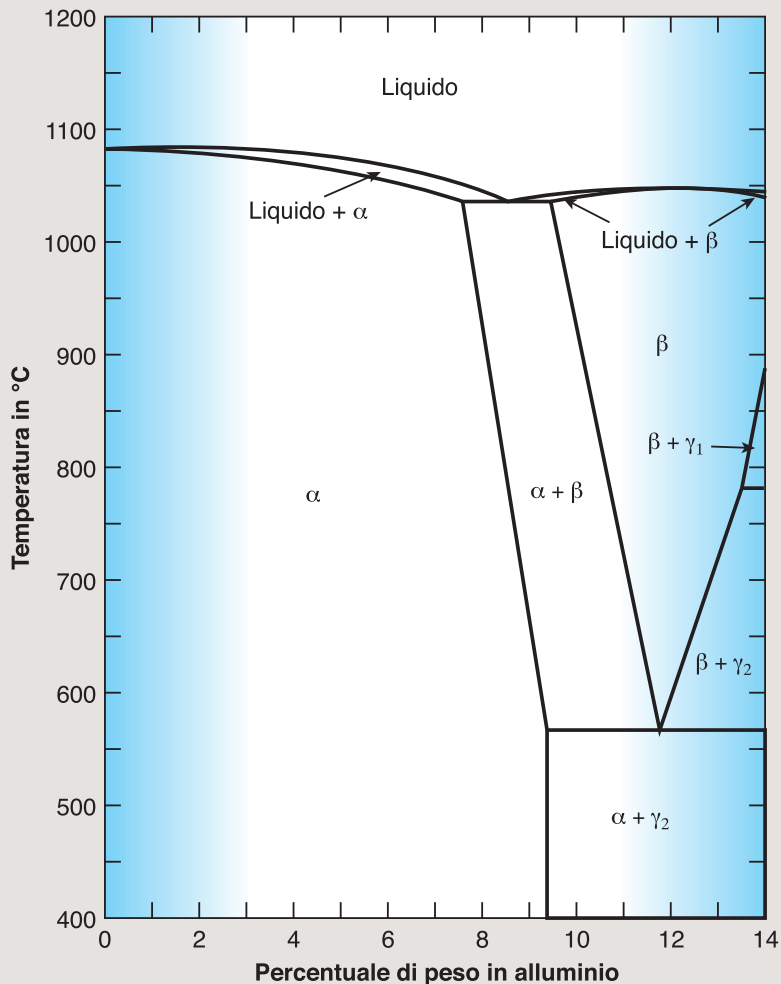


Fig. 2 Diagramma di stato rame-alluminio: si noti il ristrettissimo campo solidus-liquidus.

giroscopiche e altre strumentazioni simili; la CuAl7Si2 viene impiegata nelle navi cacciamine. Le proprietà magnetiche dipendono anche dal trattamento termico.

- Proprietà anti-scintilla. I CuAl sono apprezzati per le loro proprietà antiscintilla, che unite alle proprietà meccaniche, li rendono ideali per attrezzi che devono operare in ambienti con pericolo di esplosione.
- Intervallo di solidificazione. Dal diagramma di stato rame-alluminio notiamo immediatamente il ristrettissimo intervallo solidus-liquidus, dal quale ricaviamo che la lega fusa solidifica omogeneamente, quasi alla maniera di un metallo puro.

di fusione e saldabilità. Sviluppati soprattutto come materiale per le eliche, sono stati ormai rimpiazzati da quelli al nichel.

Proprietà fisiche di maggior interesse

- **Densità.** La presenza dell'alluminio (densità 2,7 kg/dm³) alleggerisce molto la lega: un CuAl8 ha una densità di 7,8 mentre un CuAl10Fe5Ni5 ha una densità di 7,5: sono sensibilmente più leggeri del rame (8,94) e dello stesso ordine di grandezza degli acciai.
- **Permeabilità magnetica.** Leghe contenenti il 2% circa di silicio e meno dell'1% di ferro hanno una permeabilità magnetica bassissima e sono ideali per applicazioni non-magnetiche, come le bussole

Effetto degli elementi in lega

- **Alluminio:** è l'elemento principale: la sua aggiunta permette un forte aumento della resistenza meccanica e della durezza. Le leghe binarie rame-alluminio fino all'8% circa sono costituite dalla sola fase α; al di sopra di questo tenore compare la fase β. Ad essere precisi, la fase β si forma solo quando il raffreddamento della lega è veloce; in caso contrario, sotto i 565 °C compare la fase γ, termodinamicamente più stabile ma indesiderata per la sua bassa resistenza alla corrosione: quindi i bronzi con questa struttura cristallina non trovano applicazioni pratiche nei getti o nei semilavorati. La fase γ si evita raffreddando velocemente oppure aggiungendo nichel o ferro. I CuAl con struttura α-β hanno una maggiore resistenza alla cavitazione e alla corrosione-erosione rispetto a quelli α. Curiosità: in passato sono stati osservati casi di "dealluminazione" -analoghi alla dezincificazione degli ottoni- ma al giorno d'oggi, controllando la composizione e la velocità di raffreddamento, questi fenomeni non sono più fonte di preoccupazione.
- **Ferro:** impedisce la formazione della fase γ, raffina il grano e aumenta la resistenza alla trazione.
- **Nichel:** come il ferro, impedisce la formazione della fase γ; aumenta la resistenza alla corrosione per fatica e il limite di snervamento.
- **Manganese:** migliora la resistenza alla corrosione per fatica.

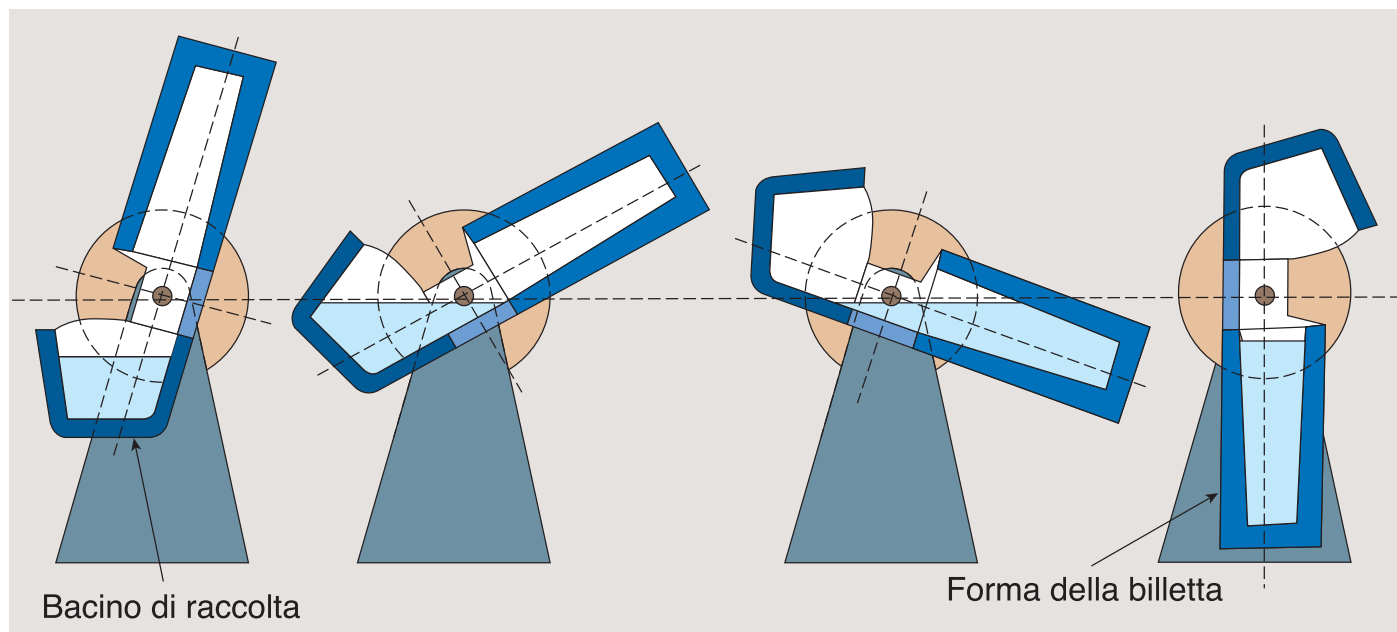


Fig. 3 Metodo Durville per l'ottenimento di billette in bronzo all'alluminio (tratto da H. Meigh: "Cast and wrought aluminium bronzes - properties, processes and structure")

Generalità sui getti

I CuAl sono leghe adatte sia per i getti che per semilavorati destinati a lavorazioni a caldo e a freddo, ma il loro maggiore utilizzo è nei getti, ottenuti per colata in sabbia, in conchiglia, per centrifugazione, continua sia in verticale che

orizzontale (quest'ultima asservita da specifica macchina di estrazione), microfusione e pressofusione.

La produzione di componenti in bronzi all'alluminio spazia dalle microfusione (per piccoli oggetti che richiedono elevata precisione nelle rifiniture) fino alle enormi eliche per

navi, pesanti anche 70 t.

La buona riuscita delle tecniche di colata/solidificazione è favorita dal ristretto intervallo solidus-liquidus della lega (**fig. 2**), che rende più omogeneo e compatto il pezzo ottenuto. Sono necessari comunque accorgimenti nel design dello stampo e nel processo di solidificazione per evitare la formazione di difetti interni: per esempio, bisogna impedire che la scoria di ossido di alluminio - che si forma istantaneamente quando il metallo liquido entra a contatto con l'aria - resti intrappolata nel pezzo durante la colata, o che si formino cavità da ritiro a seguito di raffreddamenti non ben eseguiti.

Dopo la solidificazione di molte leghe α - β , può essere necessario effettuare trattamenti termici per intervenire sulla microstruttura della lega e conferire una migliore resistenza alla corrosione (vedi riquadro a pag. 33). Con i bronzi all'alluminio si possono ottenere dei getti compositi, in cui la nostra lega viene solidificata intorno ad un altro componente metallico, per esempio un acciaio.

Un po' di storia...

L'alluminio è l'elemento metallico più comune nella crosta terrestre; nonostante questo è stato isolato per la prima volta solo nel 1825. Ben presto ci si accorse che una piccola aggiunta di questo nuovo elemento nel rame ne aumentava la durezza, senza comprometterne la malleabilità, ne conferiva una bellissima finitura e variava il colore da rosso-oro a giallo pallido.

Già nel 1856 i fratelli Tissier portarono l'attenzione della Accademia Francese sulle proprietà dei bronzi all'alluminio; un obice fu prodotto in getti per l'artiglieria francese nel 1860, ma sebbene superasse tutti i test, fu considerato troppo caro per via dei metodi di ottenimento dell'alluminio. Probabilmente il primo diagramma d'equilibrio rame-alluminio fu quello pubblicato nel 1905 da L. Guillet: il quale concluse che le uniche leghe industriali erano quelle con alluminio minore del 11% e maggiore del 94%. Sebbene già nell'ultimo decennio dell'Ottocento ci furono tentativi di aggiungere manganese, gli studi sistematici sull'aggiunta di altri elementi in lega risalgono al intorno al 1910; i metalli presi in considerazione furono manganese, nichel e zinco, ma all'inizio ci si concentrò sul primo, per via delle sue proprietà disossidanti.

In questo modo l'anima interna di acciaio conferisce robustezza al CuAl esterno, il quale provvede a dare al prodotto finale la caratteristica desiderata (antiscintilla, resistenza alla corrosione, all'usura ecc.)

La fusione

Il metallo fuso viene ottenuto in diverse maniere. Il rame può essere aggiunto sotto forma di catodi o lingotti, l'alluminio come lingotti o leghe madri. Altri elementi in percentuali minori come ferro e nichel sono aggiunti come graniglia, chiodi o sfridi, ma anche come leghe madri che si dissolvono più velocemente.

Il liquido ottenuto può essere versato direttamente nello stampo o solidificato in lingotti, da fondersi successivamente.

La ri-fusione di questi lingotti sebbene più dispendiosa, permette un

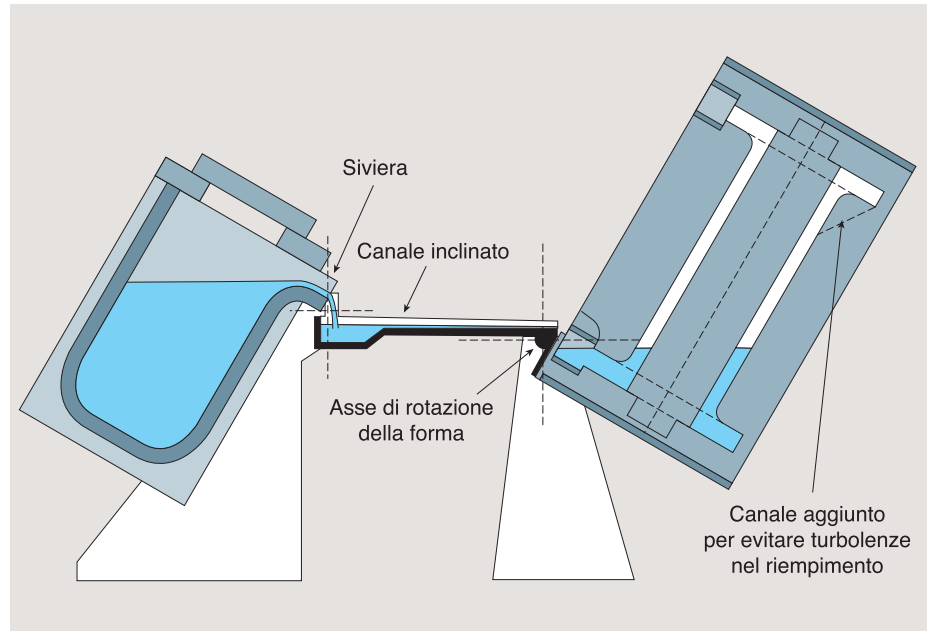


Fig. 4 Processo Meigh per la colata in sabbia (tratto da: H. Meigh: "Cast and wrought aluminium bronzes – properties, processes and structure")

migliore controllo nella fusione della lega.

La fusione deve essere eseguita il più velocemente possibile, sotto un'atmosfera leggermente ossidante, con l'accortezza di evitare surriscaldamenti che porterebbero alla presa di gas (pick-up).

Quando il metallo liquido entra a contatto con l'aria si forma istantaneamente una scoria solida di ossido di alluminio, che non deve

rimanere intrappolata nel pezzo durante la colata; questa scoria protegge la lega liquida, che pertanto non ha bisogno di galleggianti protettivi, almeno nelle operazioni di fusione di dimensione contenuta. Si noti che non sono necessari disossidanti: l'alluminio ha già una altissima affinità per l'ossigeno e quindi la lega contiene già in sé il disossidante necessario. La disossidazione diventa invece

Tab. 1 Bronzi all'alluminio: composizione dei getti

Designazione		Composizione (%)					
		Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Altri
CuAl9-C	(CC330G)	88,0-92,0	8,0-10,5	Max 1,0	Max 1,2	Max 0,5	Pb, Sb, Si, Zn
CuAl10Fe2-C	(CC331G)	83,0-89,5	8,5-10,5	Max 1,5	1,5-3,5	Max 1,0	Mg, Pb, Sb, Si, Zn
CuAl10Ni3Fe2-C	(CC332G)	80,0-86,0	8,5-10,5	1,5-4,0	1,0-3,0	Max 2,0	Mg, Pb, Sb, Si, Zn
CuAl10Fe5Ni5-C	(CC333G)	76,0-83,0	8,5-10,5	4,0-6,0	4,0-5,5	Max 3,0	Bi, Cr, Mg, Pb, Sb, Si, Zn
CuAl11Fe6Ni6-C	(CC334G)	72,0-78,0	10,0-12,0	4,0-7,5	4,0-7,5	Max 2,5	Mg, Pb, Sb, Si, Zn
CuMn11Al8Fe3Ni3-C	(CC212E)	68,0-77,0	7,0-9,0	1,5-4,5	2,0-4,0	8,0-15,0	Mg, Pb, Sb, Si, Zn

dal CEN Report CR 13388

necessaria quando al rame si aggiunge il manganese prima dell'alluminio.

La presenza della scoria, in un certo senso benefica poiché funge da copertura del bagno di fusione, diventa problematica nel momento della colata, poiché può restare intrappolata nel pezzo solido, portando ad un peggioramento delle caratteristiche meccaniche e della lavorabilità. Per questo è necessario ridurre al minimo la turbolenza e i rimescolamenti della lega fusa.

La colata

Le proprietà meccaniche dipendono molto dalle tecniche di colata e tempi di raffreddamento: un raffreddamento relativamente veloce, come nel caso di colata continua, centrifuga o pressofusione rafforza le proprietà meccaniche.

E dal momento che lo spessore di un getto influenza il raffreddamento, i progettisti devono tenere conto che aumentando lo spessore diminuiscono in generale le proprietà meccaniche come lo snervamento, il carico di

rottura, la durezza, come rilevato dagli studi effettuati da Wenschot su 117 eliche in CuAl10Fe5Ni5 di varie dimensioni, da 25 mm a 450 mm di sezione.

I getti in CuAl sono ottenuti con pressoché tutte le tecniche usate in fonderia; diamo qui solo qualche accenno, rimandando per gli approfondimenti alla letteratura tecnica disponibile.

La colata in sabbia viene usata in una grande varietà di dimensioni forme e complessità del pezzo; con questa

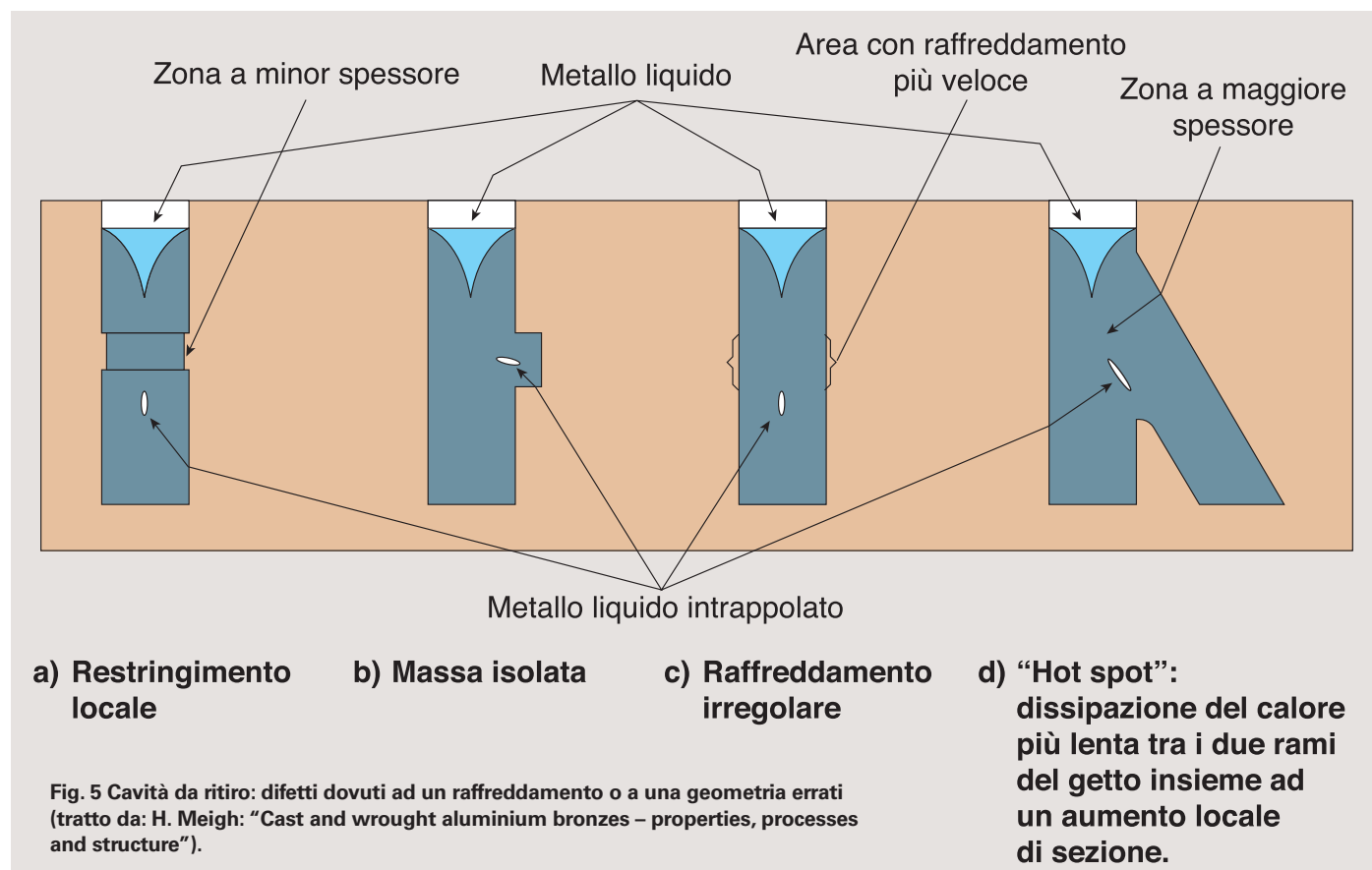


Fig. 5 Cavità da ritiro: difetti dovuti ad un raffreddamento o a una geometria errati (tratto da: H. Meigh: "Cast and wrought aluminium bronzes – properties, processes and structure").

tecnica vengono prodotte anche eliche da 70 t.

È probabilmente la tecnica più versatile, usata per produrre pompe, valvole, cuscinetti, filtri, raccordi, apparecchiature per decapaggi, macchinari per la produzione di carta, e così via. Gran parte delle leghe ad alta resistenza come la CuAl10Fe5Ni5 vengono prodotte con questa tecnica.

La colata in conchiglia viene usata per pezzi che richiedono una migliore finitura e una maggiore accuratezza dimensionale, come per i rotori delle pompe centrifughe.

La colata in forma ceramica garantisce una eccellente finitura superficiale ed è usata per quei pezzi destinati all'industria aeromeccanica, ma non in numero così alto da ricorrere a tecniche alternative come la pressofusione o la fusione a cera persa. Le leghe colate secondo questa tecnica sono CuAl ad alta o media resistenza meccanica.

La fusione a cera persa è indicata per la produzione di grandi quantità di oggetti molto piccoli senza anima interna. È un processo altamente automatizzato.

La pressofusione è più adatta per pezzi piccoli e di forma complicata, richiesti in grande quantità e con basse tolleranze dimensionali.

Una lega che ben si presta a questa tecnica è la CuAl10Fe3 , dotata di una eccellente fluidità allo stato liquido e di resistenza all'usura, all'impatto e alla fatica: per questo viene impiegata dove sono previsti

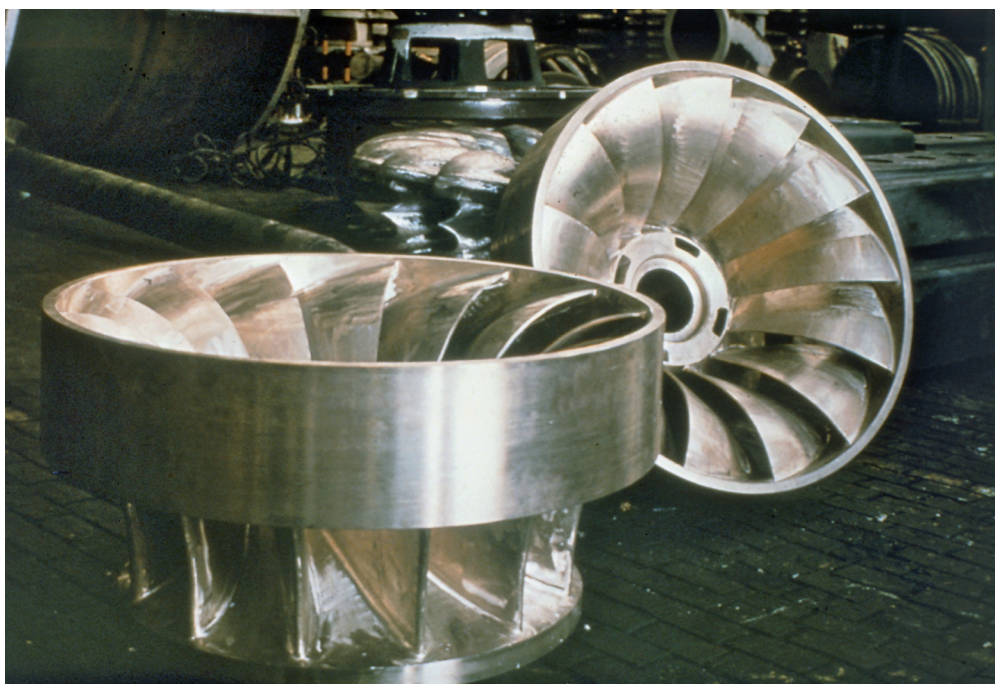


Fig. 6 Giranti per pompe fabbricate in bronzo all'alluminio. Spesso vengono ottenute con la tecnica della colata in sabbia.

urti ripetuti, come in componenti per i cambi delle automobili. La qualità superficiale può essere ulteriormente migliorata con lavorazioni successive: è il caso di ruote dentate il cui indurimento superficiale migliora le caratteristiche anti-usura.

La colata centrifuga va bene per i pezzi di forma cilindrica tra i 50 e i 2000 mm, compresi gli sbozzati per ruote e bronzine. Il vantaggio di questa tecnica sta anche nella solidificazione direzionale: la parte esterna raffredda per prima, con una struttura a grani cristallini piccoli, lasciando eventuali difetti solo all'interno. È l'ideale per pezzi sottoposti ad usura superficiale esterna. In genere, i bronzi all'alluminio richiedono maggiori velocità di rotazione rispetto ai bronzi allo stagno e i gunmetal (leghe rame-stagno-ottone).

La colata continua o semicontinua è un metodo relativamente semplice per produrre billette o barre destinate a lavorazioni successive.

Ricapitolando, la scelta del metodo di solidificazione dipende da fattori come le dimensioni del pezzo, la quantità richiesta, la tolleranza dimensionale ammessa, la finitura e ovviamente i costi.

Attenzione a...

Durante le operazioni di fonderia bisogna tenere conto di tre "pericoli": l'inclusione di ossidi, le porosità da gas e le cavità da ritiro; i primi due dipendono principalmente dalle tecniche di fonderia, mentre il terzo dipende soprattutto dalla geometria della forma e dai metodi di produzione. Cavità da ritiro. Durante la solidificazione, i CuAl hanno una contrazione di volume di circa il 4% e sono necessarie tecniche come la solidificazione direzionale (cioè il metallo deve solidificarsi dalla sezione più piccola verso la più grande) e un accurato studio delle forme per evitare la formazione di cavità dentro il metallo solido (**fig. 3**).

Inclusione di ossidi. L'ossido di alluminio si forma istantaneamente quando la lega fusa entra a contatto con l'aria e rischia di rimanere intrappolato nel metallo se c'è turbolenza durante la colata.

Per prevenire questi fenomeni ci sono varie tecniche di colata, di cui facciamo due esempi storici.

Il metodo Durville per produrre billette (**fig. 4**), in uso durante la prima guerra mondiale, consiste nel versare il metallo fuso in un bacino di raccolta, lasciandolo il tempo necessario per fare emergere in superficie l'ossido, più leggero. Il bacino e la forma sono rigidamente fissati l'uno all'altro. Una volta asportato l'ossido, si ruota di circa 180° il bacino fino a versare il metallo fuso nella forma, minimizzando le turbolenze.

Nel metodo Meigh (**fig. 5**), il metallo fuso passa dalla siviera alla forma attraverso un canale lievemente inclinato: qui il metallo fluisce sotto uno strato di ossido che

Principali applicazioni dei getti in bronzo all'alluminio...

Eliche, giranti, alberi, parti di pompe e valvole, tubi e piastre tubiere per scambiatori, ingranaggi e ruote dentate, dadi, boccole, ghiera, cuscinetti, raccordi, forcelle, attrezzatura per decapaggi e lavorazioni meccaniche, attrezzi anti-scintilla, stantuffi, connettori per cavi, parti in contatto con acqua di mare ecc.

protegge da ulteriori ossidazioni. Infine il metallo fuso arriva alla forma, che ruota di 90° durante il suo graduale riempimento. Altri processi basati sulla inclinazione della forma sono varianti di questi due. Bisogna aggiungere che alcuni oggetti con geometria particolare, come le eliche a passo fisso, non possono essere ottenuti con questi processi: in questo caso è necessario prevedere particolari accorgimenti tecnici nel riempimento della forma e nel raffreddamento che creino le condizioni di solidificazione

direzionale. L'idrogeno. I CuAl allo stato fuso hanno una certa affinità per l'idrogeno, che può provenire dai gas o dagli oli di combustione. Dal momento che la sua solubilità diminuisce significativamente all'avvicinarsi della temperatura di solidificazione, c'è il rischio di formazione di bolle di gas, che rimangono poi "imprigionate" nella soluzione.

Una strategia per eliminare il problema è quella di impiegare fornaci a resistenza elettrica o degasare insufflando azoto.

Tab. 2 Bronzi all'alluminio: tecniche e caratteristiche meccaniche

Designazione		Tecnica di colata	Caratteristiche meccaniche (min)			
			R _m (N/mm ²)	R _{p0,2} (N/mm ²)	A (%)	HB
CuAl9-C	(CC330G)	GM; GZ	450-500	160-180	15-20	100
CuAl10Fe2-C	(CC331G)	GS; GM; GZ; GC	500-600	180-250	15-20	100-130
CuAl10Ni3Fe2-C	(CC332G)	GS; GM; GZ; GC	500-600	180-250	18-20	100-130
CuAl10Fe5Ni5-C	(CC333G)	GS; GM; GZ; GC	600-650	250-280	7-13	140-150
CuAl11Fe6Ni6-C	(CC334G)	GS; GM; GZ	680-750	320-380	5	170-185
CuMn11Al8Fe3Ni3-C	(CC212E)	GS	630	275	18	150

Tecnica di colata: GS = colata in sabbia; GM = colata in conchiglia; GZ colata mediante centrifugazione; GC = colata continua. dalla norma UNI EN 1982. Nelle tabelle originali a ogni tecnica di colata sono associate le relative caratteristiche meccaniche, qui per motivi di spazio si è scelto di indicare semplicemente i range.

La saldatura dei getti

I CuAl hanno un modulo di elasticità relativamente basso (100-130 kN/mm²) e a volte sono necessarie strutture di rinforzo che forniscano rigidità e resistenza al pezzo; il problema è che tali strutture, se non ben progettate, possono causare "hot spot" e conseguentemente portare a difetti di cavità da ritiro.

Una raccomandazione è pertanto quella di progettare un getto "di base" dalla geometria semplice, sul quale saldare in tempi successivi alcune parti, come costole e sostegni. (Se ciò non fosse possibile, è fondamentale che le strutture di rinforzo siano più sottili del pezzo a cui sono collegate e siano perpendicolari ad esso).

I CuAl hanno una buona attitudine alla saldatura e, seppure in maniera minore, alla brasatura: in questa sede ci limitiamo a discutere alcuni problematiche legate alla saldatura, rimandando i dettagli alla letteratura

tecnica esposta in bibliografia. Innanzitutto bisogna assicurarsi che il getto sia esente da cavità da ritiro e porosità da gas: occorre pertanto asportare le parti di metallo "difettose", lasciando alla fine una superficie liscia. Tecniche non-distruttive, come i liquidi penetranti e radiografia devono poi confermare che non siano rimasti difetti sotto la superficie metallica.

Il film di ossido di alluminio fornisce una eccellente resistenza alla corrosione, ma sfortunatamente ostacola la saldatura: il rischio è quello di intrappolarlo dentro la saldatura. Pertanto bisogna rimuovere questi ossidi, insieme ad ogni traccia di grasso, sporco e altri contaminanti; la pulizia viene ottenuta attraverso spazzole di acciaio (che non devono aver pulito in precedenza altri materiali) a cui segue uno sgrassaggio.

L'asportazione dell'ossido deve essere fatta anche dopo ogni passata di

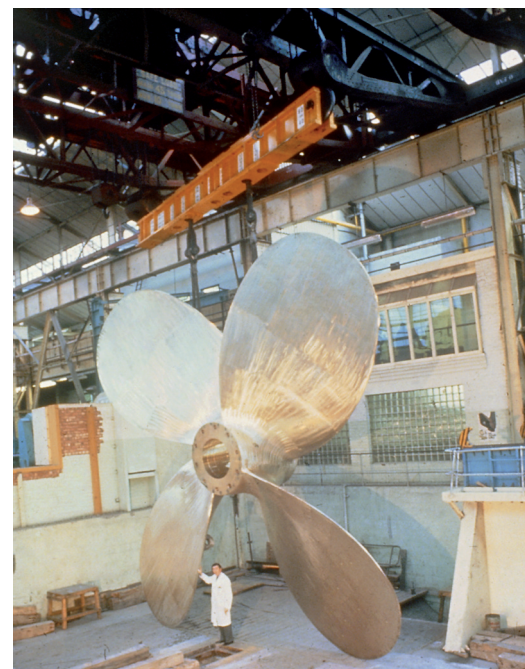


Fig. 7 I bronzi all'alluminio sono leghe utilizzate soprattutto in ambito marino: possiedono una notevole resistenza alla corrosione-erosione, alla cavitazione e alla fatica.

saldatura.

I CuAl subiscono una notevole diminuzione della duttilità (ductility dip) ad alte temperature: se durante il raffreddamento post-saldatura si creano eccessive tensioni interne e/o dilatazioni differenziali tra diversi punti del pezzo, il rischio di cricature aumenta considerevolmente. Le leghe con Al < 8% sono difficili da saldare proprio per questo fenomeno, che per loro si manifesta tra i 300° e 650 °C; la saldabilità è invece buona nell'intervallo 8,2 < Al < 10,7%, (con l'optimum a 9,5%). Anche il nichel influenza la duttilità ad alta temperatura: nella pratica i CuAl aventi Ni > 5,5% non sono saldabili. Al contrario, le leghe ad alto tenore di manganese presentano una ottima saldabilità.

Infine è da aggiungere che al termine della saldatura sono possibili trattamenti termici di ricottura per eliminare le tensioni interne rimaste nel pezzo.

...e un esempio di semilavorato per l'edilizia

Uno dei prodotti più innovativi per le facciate e il rivestimento di edifici sono le lastre in bronzo all'alluminio di composizione designata con la sigla CuAl5Zn5Sn1Fe0,5. Queste presentano un bellissimo aspetto dorato, che ne sconsiglia il trattamento con alcuni processi a caldo (come la brasatura o la saldatura) che ne rovinerebbero localmente la colorazione. Hanno una notevole resistenza meccanica: dai 450 ai 560 N/mm²: per cui talvolta vengono usati specifici trattamenti termici per rendere più facilmente lavorabile il materiale.

Principali applicazioni

Le proprietà di una lega dipendono dalla composizione, dalla lavorazione, dal trattamento termico e dalla geometria del semilavorato o del getto: ciò che sarà di seguito è da considerarsi di carattere generale, tenendo conto che i CuAl abbracciano una ampia gamma di composizioni, che singolarmente prese "funzionano" in alcuni ambienti, ma non automaticamente in altri. Premesso questo, i bronzi all'alluminio offrono un "mix" di caratteristiche chimiche e proprietà meccaniche che li rendono adatti a numerose applicazioni, molte delle quali legate agli impieghi in campo marino (vedi riquadro a pag. 40).

La nobiltà dei CuAl è di poco minore rispetto ai cupronickel e maggiore rispetto alle altre leghe di rame, ma le differenze sono così basse da non creare significative corrosioni galvaniche: per questa ragione negli impianti di dissalazione e nelle piattaforme off-shore vengono usati dispositivi di fissaggio in bronzi all'alluminio per tubazioni in lega di rame che trasportano acqua di mare. Le differenze galvaniche sono più alte in presenza di acciaio inox e di titanio, ma nella pratica ingegneristica si è visto che – essendo il rapporto tra le aree non sfavorevole nella maggior parte dei casi – la velocità di corrosione viene aumentata in realtà di pochissimo:



Fig. 8 Portcullis House contiene i nuovi uffici per i Parlamentari inglesi. Le sue "torrette" e la copertura sono ricoperte da elementi in bronzo all'alluminio (rame all'80%) di 6 mm di spessore (arch. Michael Hopkins and Partners, 2001).

quindi piastre tubiere in CuAl sono impiegate nei condensatori insieme a tubi di titanio. È stato osservato che i bronzi all'alluminio hanno anche una ottima resistenza alla corrosione-erosione, alla fatica e alla cavitazione. Come è noto, le condizioni di alta velocità di flusso e di moto turbolento possono erodere il film protettivo di un metallo o di una lega attraverso la cavitazione. Il vantaggio dei bronzi all'alluminio risiede nella sua capacità di riformare velocemente la sua patina protettiva sulla parte appena erosa: per questo sono impiegate anche per parti di pompe e valvole. Tali caratteristiche, unite alla facilità nell'ottenere getti e alla saldabilità, hanno fatto sì che queste leghe potessero essere ideali per la costruzione di eliche, anche per navi di grosse dimensioni. In particolare, la scelta del materiale per le eliche è tra i CuAl al nichel e quelli al manganese: ormai si usano solo i primi, dal momento che hanno una

Getti ad alta e media resistenza

Leghe per getti ad alta resistenza

CuAl10Fe5Ni5-C: forse il bronzo all'alluminio più usato. Ottima resistenza alla corrosione/erosione, all'urto, alti valori di durezza. Usata per pompe, valvole, eliche, scambiatori di calore (CuAl9Fe4Ni5Mn: variante di quella precedente, non unificata).

CuAl11Fe6Ni6-C: massimi valori di resistenza meccanica tra i CuAl, a discapito però dell'allungamento percentuale. Elevata durezza ed eccellente resistenza all'usura.

CuMn11Al8Fe3Ni3-C: Ottime proprietà meccaniche, è stata usata a lungo per la produzione di eliche, ma è ormai rimpiazzata dalla CuAl10Fe5Ni5-C, data la maggiore resistenza di quest'ultima alla fatica da corrosione sotto tensione in acqua di mare.

Leghe per getti a media resistenza

CuAl9-C: usata nelle pressofusioni e colate centrifughe. Può essere soggetta a lieve dealluminazione.

CuAl10Fe2-C: Prodotta principalmente con colata continua o pressocolata e destinata a lavorazioni successive. Eccellente duttilità e resistenza all'urto: usata per componenti del cambio delle automobili.

CuAl10Fe3Ni2-C: buona resistenza alla corrosione e dotata della migliore saldabilità tra i bronzi all'alluminio.

maggior resistenza alla cavitazione e alla fatica, anche se hanno valori simili di resistenza alla corrosione-erosione; riguardo quest'ultima, gli acciai inossidabili sono migliori, ma non hanno la stessa resistenza alla cavitazione, motivo per cui i CuAl sono usualmente i materiali preferiti. I bronzi all'alluminio-nichel sono impiegati nelle giranti, negli alberi e, in alcuni casi, nei corpi delle pompe centrifughe, e nei dischi e nelle battute delle valvole, anche per applicazioni in condizioni meno severe, come a contatto con l'acqua dolce. I CuAl vengono usati per tubi negli scambiatori di calore, per condensare vapore o raffreddare idrocarburi con acqua di mare, anche se per le stesse applicazioni si preferiscono usare il cupronickel e il titanio; nella pratica comune i CuAl vengono usati nelle piastre tubiere, al posto delle tradizionali leghe d'ottone. Generalmente, quando si deve scegliere il materiale per tubi adibiti al trasporto di acqua di mare, in prima battuta ci si orienta verso il cupronickel 90-10, ma in alcuni casi viene impiegato il bronzo all'alluminio: ha analoghe prestazioni nella resistenza alla corrosione, ma presenta un migliore rapporto resistenza/peso. I tubi possono essere prodotti anche per colata continua o centrifuga. È importante ricordare che i CuAl sono leghe di rame e, come tutte le leghe di rame, impediscono o contrastano lo sviluppo del biofouling sulla loro superficie, minimizzando i problemi e i costi legati alle incrostazioni e alla

manutenzione. Questa proprietà è importante per i tubi che trasportano acqua di mare per sistemi antincendio delle navi e delle piattaforme off-shore, la cui portata verrebbe ridotta dalla crescita di alghe al loro interno.

Un'applicazione importante sono i fissaggi (bulloni, dadi ecc.) usati nel settore delle costruzioni, in particolare in zone industriali e marine: vengono impiegati raccordi e fissaggi per il cemento, come nel caso delle scale di accesso alle ciminiere, dove è richiesta resistenza chimica ai prodotti di combustione e agli ossidi di zolfo. Infine, i bronzi all'alluminio sono anti-scintilla: gli strumenti e gli apparecchi costruiti con queste leghe contribuiscono alla sicurezza di ambienti dove bisogna ridurre

al massimo il rischio di innesco di fiamme o di esplosione, come impianti chimici, petrolchimici, minerari o comunque aventi a che fare con gas infiammabili. Non possiamo non menzionare anche tutta la produzione di meccanica varia come ingranaggi, manicotti, cuscinetti e guarnizioni, ghiera e anelli, flangie che trovano impiego nei campi più disparati, dalla produzione di energia fino alla strumentazione di precisione (grazie anche alla bassa permeabilità magnetica, sfruttata negli strumenti di rilevazione), dall'industria del trasporto (auto e così via) a quella della produzione del freddo.

Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. G. Mei per la collaborazione.

Bibliografia

- [1] H. Meigh, "Cast and wrought aluminium bronzes - properties, processes and structure".
- [2] V. Callcut, "Aluminium Bronzes".
- [3] Copper Development Association UK, "Corrosion resistance - Aluminium bronzes" (www.cda.org.uk).
- [4] ASM Handbook vol.2, "Properties and selection: nonferrous alloys and special purpose materials".
- [5] ASM Handbook vol.6, "Welding, brazing and soldering".
- [6] ASM Handbook vol.15, "Casting".
- [7] W. Nicodemi, M. Vedani, "La metallurgia nelle tecniche di produzione".
- [8] UNI EN 1982, Rame e leghe di rame - Lingotti e getti.
- [9] CEN Report CR 13388: Copper and copper alloys - Compendium of composition and products.
- [10] M. Crespi, I laminati in rame e sue leghe, "Lamiera", settembre 2006.