

I bronzi all'alluminio sono una famiglia di leghe di rame con un'interessante combinazione di resistenza alla corrosione e di proprietà meccaniche, che le rendono idonee per applicazioni "difficili"



Marco Crespi

Laminati in bronzo all'alluminio

Il salone delle feste "Le Safran" a Brie Comte Robert in Francia (progetto S.C.P.A.), lastre in Tecu Gold prodotto dalla KME. I bronzi all'alluminio vengono impiegati in edilizia grazie alla colorazione dorata, alle proprietà meccaniche, alla resistenza all'abrasione e alla corrosione.

I bronzi all'alluminio, detti anche cuprallumini, sono una famiglia di leghe di rame caratterizzate da una interessante combinazione di resistenza alla corrosione e di proprietà meccaniche, che le rendono idonee per applicazioni "difficili" da affrontare, in particolare in ambito marino.

Bisogna però ricordare che i bronzi all'alluminio (che per brevità chiameremo cuprallumini) abbracciano una ampia gamma di composizioni, che singolarmente prese "funzionano" in alcuni ambienti, ma non automaticamente in altri.

Quindi ciò che sarà elencato in seguito è da considerarsi di carattere generale, tenendo conto che le proprietà di una lega dipendono dalla composizione, dalla lavorazione, dal trattamento termico e dalla geometria del semilavorato o del getto.

I cuprallumini, dunque, possono offrire:

- ottime proprietà meccaniche, simili a quelle degli acciai bassoalegati;
- eccellente resistenza alla corrosione (tra le leghe di rame,

inferiore solo a quella dei cupronickel);

- resistenza alla fatica e al creep, che li rende adatti anche per impieghi ad alte temperature;
- discreta fusione, colabilità e solidificazione, che li rende ideali per getti;
- durezza e resistenza all'usura, che li rende adatti per la fabbricazione di cuscinetti e ingranaggi;
- saldabilità;
- duttilità, che non diminuisce alle basse temperature;
- lavorabilità all'utensile;
- bassa suscettività magnetica, che li rende adatti per strumentazioni e applicazioni speciali;
- batteriostaticità, che (come avviene nelle altre leghe di rame) contrasta lo sviluppo del biofouling;
- caratteristiche anticintilla (anti-sparkling);
- aspetto dorato, sfruttato in architettura e monetazione.

La patina superficiale

La peculiarità di queste leghe sta soprattutto nella formazione di una patina di ossido superficiale, sottile, resistente e bene ancorata alla lega sottostante, e che si riforma rapidamente in caso di rottura.

La patina non ha una composizione omogenea: contiene più ossido di alluminio (Al_2O_3) vicino alla lega ed si arricchisce di ossido di rame (Cu_2O) verso la superficie esterna; infatti se il cupralluminio non è inizialmente ossidato, è l'alluminio che reagisce per primo con l'ossigeno e ostacola parzialmente la diffusione di altro alluminio dalla lega. Il fatto che vi sia più ossido di rame e tracce di altri sali di rame sulla parte esterna è un vantaggio nelle applicazioni marine, in quanto contrasta l'adesione di organismi (biofouling).

Ferro e nichel rafforzano ulteriormente la patina.

Si noti che l'ossido di alluminio è molto resistente all'abrasione tanto che proprio l'allumina (Al_2O_3) viene usata come sostanza abrasiva.

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 , che 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.

La fase γ si evita anche aggiungendo nichel e/o ferro.

I cuprallumini con struttura α - β hanno una maggiore resistenza alla cavitazione e alla corrosione-erosione rispetto a quelli α .

Ferro: impedisce la formazione della fase γ , affina il grano e aumenta la resistenza alla trazione, ma riduce l'allungamento a rottura.

Nichel: sempre associato al ferro, impedisce la formazione della fase γ ; aumenta la resistenza alla corrosione per fatica e il limite di snervamento. Viene aggiunto per aumentare la resistenza alla corrosione; in letteratura si trovano relazioni tra il contenuto di Al e Ni per questo scopo: $Al \leq 8.2 + Ni/2$.

Manganese: migliora la resistenza alla corrosione per fatica. Leghe con alto contenuto di manganese (8-15%) sono state usate in passato per la produzione di eliche in getti.

LAVORAZIONI

I cuprallumini possono essere ottenuti sia come getti che come semilavorati e possono essere sottoposti ad un certo numero di lavorazioni, tra cui la forgiatura, l'estrusione, la laminazione, la trafilatura, o una combinazione di questi processi. Il semilavorato parte da una billetta o da una bramma lavorata a caldo e poi eventualmente a freddo fino ad ottenere la geometria desiderata: lastre, nastri, fili, barre, tubi e così via. Le lastre possono essere sottoposte successivamente a piegatura, stampaggio, imbutitura, coniazione ecc.

TAB|01| Bronzi all'alluminio: composizione dei semilavorati

Designazione		Composizione %					
Simbolo	Numero	Cu	Al	Fe	Mn	Ni	Altri
CuAl5As	CW300G	Resto	4,0-6,5	0-0,2	0-0,2	0-0,2	Pb, Sn, Zn, Si, As
CuAl6Si2Fe	CW301G	"	6,0-6,4	0,5-0,7	0-0,1	0-0,1	Pb, Sn, Zn, Si
CuAl7Si2	CW302G	"	6,3-6,6	0-0,3	0-0,2	0-0,2	"
CuAl8Fe3	CW303G	"	6,5-8,5	1,5-3,5	0-1,0	0-1,0	"
CuAl9Ni3Fe2	CW304G	"	8,0-9,5	1,0-3,0	0-2,5	2,0-4,0	"
CuAl10Fe1	CW305G	"	9,0-10,0	0,5-1,5	0-0,5	0-0,1	"
CuAl10Fe3Ni2	CW306G	"	9,0-11,0	2,0-4,0	1,5-3,5	0-1,0	"
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	"	8,5-11,0	3,0-5,0	0-1,0	4,0-6,0	"
CuAl11Fe6Ni6	CW308G	"	10,5-12,5	5,0-7,0	0-1,5	5,0-7,0	"

Dal CEN Report CR 13388

La laminazione dei cuprallumini è un processo che si fa a caldo e non differisce da quella di altri metalli, tipo il rame: tale lavorazione consiste nel far passare la billetta o la brama diverse volte sotto una o più coppie di rulli, in modo da ridurne, di passaggio in passaggio, lo spessore e aumentandone la lunghezza. È possibile anche variare la direzione della laminazione nelle prime passate (cross-rolling) per ottenere piastre piuttosto ampie: questo permette anche di ridurre la direzionalità del grano cristallino.

La temperatura di lavorazione dipende dalla lega, in particolare dalla sua struttura cristallina: i cuprallumini costituiti solo da fase α offrono una buona lavorazione a freddo (anche se la CuAl8Fe3 viene normalmente lavorata a caldo tra i 700 e i 950 °C) e permettono la produzione di lastre sottili. Con leghe aventi struttura $\alpha+\beta$ la duttilità a freddo diminuisce, ma migliora la lavorabilità alle alte temperature (700-800 °C).

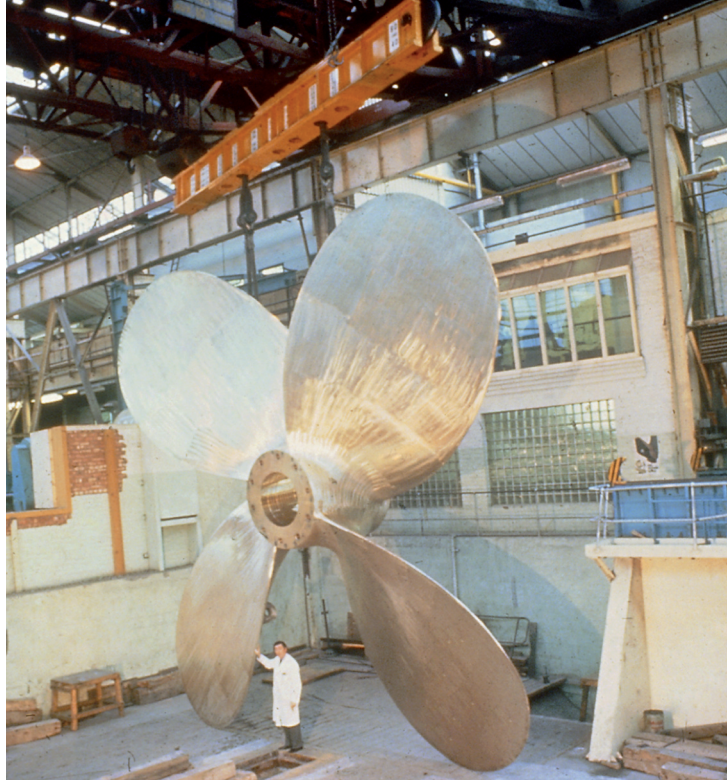
Le lastre in cuproalluminio possono a loro volta essere sottoposte a successive lavorazioni a freddo come la piegatura, per ottenere cilindri o forme a L o a U con raggi di curvatura pari allo spessore della lastra.

Altre lavorazioni a freddo sono riservate a lastre più duttili, in genere contenenti meno dell'8% di alluminio (anche se si può arrivare al 10% in alcuni lavorazioni di impegno limitato); si deve tenere conto che essendo meccanicamente più resistenti della maggior parte delle altre leghe di rame, esse richiedono una maggiore ricorso alla ricottura.

PRINCIPALI LEGHE E APPLICAZIONI

Possiamo sommariamente suddividere i cuproallumini in tre grandi famiglie, a seconda dello loro microstruttura:

– quelli contenenti meno dell'8% di alluminio, aventi una



I bronzi all'alluminio sono ideali per la produzione di getti, anche di grandi dimensioni: sono impiegati soprattutto in ambito marino, grazie alla loro resistenza alla corrosione e alle proprietà meccaniche.

struttura cristallina α ;

– quelli contenenti alluminio dall'8 all'11% con struttura α - β (duplex);

– quelli con alto tenore di alluminio, ferro e nichel o manganese, contenenti precipitati di fase κ , dispersi nella struttura α - β . Le leghe monofasiche, come detto, sono costituite dalla sola fase α (cubica a facce centrate, la stessa del rame); hanno buona duttilità e sono adatte per lavorazioni a freddo, molto più di quelle bifasiche: infatti le leghe con 4,5-7,5% di Al sono impiegate soprattutto nei semilavorati.

Con le leghe monofasiche è possibile ottenere spessori più sottili e sono le uniche ad essere sottoposte a imbutitura.

Monetazione: l'euro

Le monete da 10, 20 e 50 centesimi di euro sono in una lega CuAl5Zn5Sn1, chiamata nordic gold e originariamente sviluppata dalla zecca svedese per le monete da 10 corone. La produzione delle monete consiste nel laminare un nastro fino a raggiungere lo spessore desiderato e tranciarlo per ottenere i tondelli destinati alle operazioni successive, come la sbavatura e l'orlettatura.

Ci sono altri bronzi all'alluminio che vengono impiegati nella monetazione: per esempio il cosiddetto bronzital, una lega con Cu 92%, Al 6% e Ni 2% usata un tempo per le monete da 20 e 200 lire e per i 10 franchi francesi; attualmente la stessa lega si trova nelle monete da 1 e 2 dollari australiani.

Le leghe di rame sono state scelte per la coniazione dell'euro per la facilità di coniatura, la resistenza alla corrosione e alla perdita di lucentezza (tarnishing), le proprietà anti-batteriche, la completa riciclabilità, la resistenza all'urto, all'abrasione e all'usura. Va citata anche la possibilità di modificare il colore originale del rame: la parte bianca delle monete da 1 e 2 euro non è acciaio, ma una lega CuNi25.

TAB|02| Caratteristiche meccaniche dei bronzi all'alluminio per piastre, lastre, nastri e dischi per usi generali

Designazione		Stato metallurgico	Spessore nominale	Caratteristiche meccaniche			
Simbolo	Numero		(mm)	R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²) (* titolo informativo)	A (%)	HV
CuAl8Fe3	CW303G	R480	3-15	Min. 480	Min. 210	30	
		H110					100 min.

(da UNI EN 1652)

TAB|03| Caratteristiche meccaniche dei bronzi all'alluminio per piastre, lastre e dischi per caldaie, recipienti a pressione e serbatoi per acqua calda

Designazione		Stato metallurgico	Spessore nominale	Caratteristiche meccaniche			
Simbolo	Numero		(mm)	R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	A(min.) %	HV (titolo informativo (circa))
CuAl8Fe3	CW303G	R450	>50	450	200	30	130
		R480	2,5-50	480	200	30	140
CuAl9Ni3Fe2	CW304G	R490	10-100	490	180	20	125
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	R590	>50	590	230	14	160
		R620	2,5-50	620	250	14	180

(da UNI EN 1653)

Possano anche essere estruse in tubi.

La lega più nota è la CuAl8Fe3: offre la migliore combinazione di proprietà grazie al fatto che il contenuto di alluminio è al limite superiore dell'intervallo della fase α e che il ferro affina il grano. La resistenza alla corrosione è eccellente (non è soggetta ad attacchi selettivi o a trasformazioni in fase γ durante il raffreddamento), mentre le proprietà meccaniche dipendono dalle lavorazioni a freddo. Viene impiegata per la produzione di dadi e bulloni, recipienti resistenti alla corrosione, serbatoi, tubi condensatori, tubazioni in generale e piastre. Con un'aggiunta dello 0,25% di stagno è usata per apparecchiature che lavorano ad alte pressioni.

Nelle leghe contenenti più del 8-8,5% di alluminio comincia a comparire fase β (cubica a corpo centrato), che aumenta la durezza a temperatura ambiente. Al contrario, alle alte temperature queste leghe binarie sono più duttili rispetto alle monofasiche, per cui sono indicate per le lavorazioni a caldo (700-800°C), nonché per i getti.

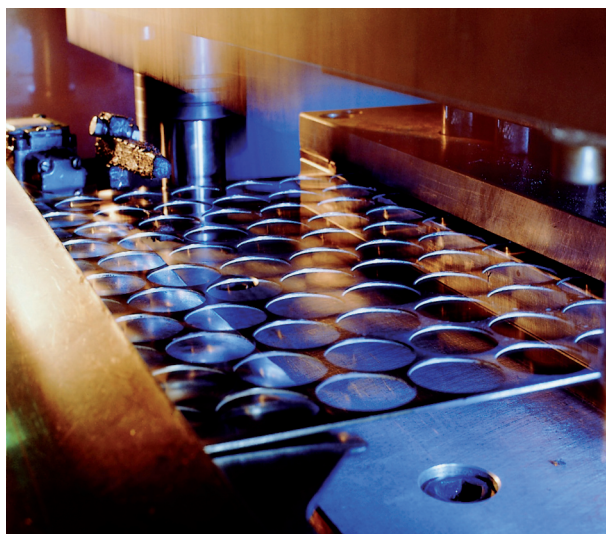
La comparsa della fase β è favorita anche dalla presenza di altri elementi: per esempio l'aggiunta dell'1% di Si equivale all'1,6% di Al; pertanto tra le leghe bifasiche annoveriamo anche la CuAl7Si2, anche se non viene raggiunta la teorica soglia dell'8% di Al.

Questa lega offre ottima lavorazione alle macchine, eccellente resistenza alla corrosione e all'abrasione, bassa permeabilità magnetica: è impiegata per parti di valvole, ingranaggi, accessori per applicazioni marine e strumentazioni navali. Altre leghe bifasiche sono CuAl6Si2Fe, CuAl10Fe1, CuAl9Ni3Fe2 e la C62300 (con Al 8,5-10,0% e Fe 2,0-4,0%).

Nichel, ferro e alluminio si combinano tra loro a formare composti noti come fasi κ , che oltre certe concentrazioni producono un effetto marcato sulle caratteristiche della lega. Presentano la migliore combinazione tra le proprietà meccaniche e la resistenza alla corrosione, ma hanno una limitata capacità di lavorazione alle basse temperature. Se compare la fase γ , non sono invece adatte per ambienti corrosivi.

Le leghe CuAl10Ni5Fe4 e CuAl9Ni6Fe3 sono impiegate in applicazioni industriali e marine, spesso sotto forma di getti; vengono usate però anche per le piastre tubiere negli scambiatori di calore.

La CuAl11Ni6Fe6 è impiegata in ingranaggi e cuscinetti, e in altre applicazioni che richiedono alta resistenza meccanica e all'usura.



Piastra da cui sono stati ricavati i tondelli per le monete dell'euro. Le monete da 10, 20 e 50 centesimi sono una lega rame-alluminio chiamata Nordic Gold.

TAB|04 La perdita di spessore su campioni di leghe a diversi tipi di atmosfera per 20 anni

Legha	Composizione (%)	Perdita di spessore (micrometri/anno)			
		Atmosfera			
		Industriale	Industriale-marina	Marina	Rurale
C61000	Cu 92; Al 6,0-8,5	1,63	1,60	0,10 - 0,15	0,25 - 0,51
C11000	Cu 99,90; O 0,04	1,40	1,38	0,56 - 1,27	0,13 - 0,43
C23000	Cu 85; Zn 15	1,88	1,88	0,33 - 0,56	0,10 - 0,46
C26000	Cu 70; Zn 30	3,05	2,41	0,15 - 0,20	0,10 - 0,46
C52100	Cu 92; Sn 8; P	2,24	2,54	0,71 - 2,31	0,13 - 0,33

LAMINATI PER L'EDILIZIA

Le leghe di rame vantano un'eccellente resistenza alla corrosione atmosferica e i laminati in cupralluminio non fanno eccezione. Uno studio condotto sotto supervisione dell'American Society for Testing and Material (ASTM) ha misurato la perdita di spessore su campioni di varie leghe esposti a differenti tipi di atmosfera per un periodo di 20 anni (quindi in "tempo reale"). Come si può osservare nella **tab. 4**, siamo nell'ordine di grandezza dei micron – cioè millesimi di millimetro – all'anno: dal momento che le lastre più usate per la posa dei tetti, il rivestimento di facciate e le opere di lattoneria hanno uno spessore che si aggira sul millimetro (e spesso anche meno), possiamo facilmente intuire quanto sia lunga la vita utile di questi materiali in edilizia.

La stessa ricerca ha evidenziato come la perdita di spessore tende ad diminuire col passare del tempo. Un significativo esempio di cuproalluminio in edilizia è la Portcullis House di Londra, cioè l'edificio che ospita gli uffici dei parlamentari inglesi. Terminato nel 2000 e aperto nel 2001, ha una sommità "coronata" da 14 torrette, rivestite con piastre in CuAl10Ni5Fe4 dello spessore di 6 mm; tale spessore, elevatissimo, è dovuto ai requisiti di sicurezza e di durata imposti all'edificio e ai suoi materiali: infatti è stato progettato per essere a prova di bomba e per durare almeno 200 anni.

I bronzi all'alluminio sono stati impiegati anche per rivestire le condotte di aerazione visibili in facciata, gli infissi (estrusi in CuAl10Ni5Fe4) e gli elementi in getti (in CuAl10Fe5Ni5-C). Bisogna notare che i bronzi all'alluminio presentano in realtà un colore dorato, cosa che non si non osserva nel Portcullis House: i progettisti hanno trattato le superfici metalliche per avvicinarsi alla tonalità dell'antistante Parlamento inglese. Il colore naturale dei cuproallimini può essere ammirato in edifici come Le Safran ("lo zafferano") a Brie Comte Robert, a sud di Parigi. Il palazzo, utilizzato come salone delle feste comunale, è rivestito da scandole di composizione CuAl-5Zn5, una lega adatta per le facciate grazie alla sua resistenza meccanica e all'abrasione. Le lastre lì impiegate sono commercializzate con resistenza a trazione R di 410 N/mm² minimo (per contro, le lastre in rame incrudito presentano una resistenza R290); gli spessori più utilizzati non superano il millimetro, per non rendere difficile la piegatura. Dal punto di vista cromatico, su superfici verticali l'aspetto dorato subisce poche variazioni nel corso del tempo; sono da sconsigliare processi a caldo come la brasatura forte e la saldatura, che ne rovinerebbero localmente la colorazione. ■

Ringraziamenti

Si ringraziano G.Mei e N.Hay (CDA-UK) per la collaborazione

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Meigh, *Cast and wrought aluminium bronzes - Properties, processes and structure.*
- [2] *ASM Handbook vol.2: Properties and selection: nonferrous alloys and special purpose materials.*
- [3] *ASTM Metals Handbook vol. 13: Corrosion.*
- [4] *Bronze - Aluminium bronzes*, Copper Development Association UK, www.copperinfo.co.uk.
- [5] M. Lancia, E. Martellucci, *Le leghe di rame e la monetazione: la moneta unica europea.*
- [6] UNI EN 1652: *Rame e leghe di rame - Piastre, lastre, nastri e dischi per usi generali.*
- [7] UNI EN 1653: *Rame e leghe di rame - Piastre, lastre e dischi per caldaie, recipienti a pressione e serbatoi per acqua calda.*
- [8] CEN Report CR 13388: *Copper and copper alloys - Compendium of compositions and products.*
- [9] M. Crespi, *I bronzi all'alluminio*, "Fonderia Pressofusione" n.4, novembre 2008.



La londinese Portcullis House (progetto Michael Hopkins and Partners): per la copertura e gli infissi sono stati impiegati bronzi all'alluminio, contenenti l'80% di rame.