

Proprietà delle leghe zama

L'articolo riprende una delle relazioni tenute nel corso della giornata dedicata alle leghe zama svoltesi presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Essa si è focalizzata sugli aspetti metallurgici e sulle correlazioni composizione-processo-microstruttura-proprietà, premesse fondamentali per l'individuazione delle ottimali combinazioni materiale-tecnologia-geometria per specifici componenti.

Cosa sono le leghe zama?

Le leghe comunemente chiamate zama sono leghe Zn-Al-Ch-Mg (la designazione commerciale classica zamak, tradotta in italiano con zama, è sostanzialmente un acronimo in tedesco di questi elementi) utilizzate per la realizzazione di getti. Esse rientrano dunque tra le leghe di zinco da fonderia. Queste ultime sono presenti sul mercato con una selva di designazioni, sia commerciali che standardizzate (si vedano per esempio le normative europee e americane al riguardo, Uni EN 1774-99 e Astm B86). I tipi principali di leghe di zinco da fonderia, che non differiscono sostanzialmente tra una normativa e l'altra, sono presentati in tabella 1. Gli elementi di lega che sostanzialmente differenziano una lega dall'altra sono Al e Cu. Il magnesio, pur presente in modesta quantità, è considerato a tutti gli effetti elemento di lega in quanto fondamentale per ottimizzare la resistenza a corrosione. Particolare attenzione va posta alla presenza degli elementi considerati impurezze, che provocherebbero decadimenti inaccettabili della



resistenza a corrosione o della tenacità se eccedessero i limiti indicati. Tra le citate leghe da fonderia quelle note comunemente come zama (evidenziate in azzurro nella tabella) sono caratterizzate da un tenore di Al tipico di 4%. Sono tuttavia considerate leghe zama anche quelle con Al fino all'8%. Le leghe zama sono caratterizzate da temperature di inizio solidificazione inferiori a quella dello stesso Zn e da intervalli di solidificazione molto contenuti (ad esempio T_m e ΔT di 387 °C e 6 °C per la lega ZL3), il che consente di adottare tipicamente la pressocolata a camera cal-

Le leghe zama trovano applicazione in molti settori, sia industriali sia civili e consumer. Ma quali sono le caratteristiche e le proprietà di questo materiale utilizzato per la realizzazione di getti?

Ecco qui di seguito alcuni aspetti metallurgici che determinano le qualità della lega per specifiche applicazioni

Designazione alfanumerica della lega	Designazione numerica della lega	Designazione abbreviata	Elemento	alliganti						impurezze						
				Al	Cu	Mg	Cr	Ti	Pb	Cd	Sn	Fe	Ni	Si	Zn	
ZnAl4	ZL0400	ZL3	min. max.	3,8 4,2	- 0,03	0,035 0,06	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	Resto
ZnAl4Cu1	ZL0410	ZL5	min. max.	3,8 4,2	0,7 1,1	0,035 0,06	- -	- -	- -	0,003 0,003	0,003 0,001	0,020 0,001	0,001 -	- -	0,02 -	Resto
ZnAl4Cu3	ZL0430	ZL2	min. max.	3,8 4,2	2,7 3,3	0,035 0,06	- -	- -	- -	0,003 0,003	0,001 0,001	0,020 0,001	0,001 -	- -	0,02 -	Resto
ZnAl6Cu1	ZL0610	ZL6	min. max.	5,6 6,0	1,2 1,6	- 0,005	- -	- -	- -	0,003 0,003	0,001 0,001	0,020 -	- -	- -	0,02 -	Resto
ZnAl8Cu1	ZL0810	ZL8	min. max.	8,2 8,8	0,9 1,3	0,02 0,03	- -	- -	- -	0,005 0,005	0,002 0,002	0,035 0,001	0,001 -	- -	0,035 -	Resto
ZnAl11Cu1	ZL1110	ZL12	min. max.	10,8 11,5	0,5 1,2	0,02 0,03	- -	- -	- -	0,005 0,005	0,002 0,002	0,05 -	- -	- -	0,05 -	Resto
ZnAl27Cu2	ZL2720	ZL27	min. max.	25,5 29,0	2,0 2,5	0,012 0,02	- -	- -	- -	0,005 0,005	0,002 0,002	0,07 -	- -	- -	0,07 -	Resto
ZnCu1CrTi	ZL0010	ZL16	min. max.	0,01 0,04	1,0 1,5	- 0,02	0,1 0,2	0,15 0,25	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	Resto

Tabella I. Composizione chimica delle leghe di zinco da fonderia [figura adattata da Uni EN 1774-99]. Le leghe comunemente note come zama corrispondono a quelle evidenziate. I loro principali elementi di lega sono riquadrati in blu, le impurezze in verde. Le frecce blu e fucsia si riferiscono rispettivamente al tenore Al e Cu e saranno utilizzate anche nelle figure seguenti per visualizzare gli effetti della composizione chimica.

da per la realizzazione dei getti in zama, a differenza delle leghe di zinco che contengono maggiori quantità di alluminio. Le aggiunte di rame modificano un poco queste temperature di inizio solidificazione e gli intervalli di solidificazione (per esempio per la lega ZL2 ΔT si amplia a 11 °C).

Come sono fatte 'dentro' le leghe zama?

La microstruttura tipica delle leghe zama (visibile in una micrografia scattata al microscopio ottico nell'immagine introduttiva, e in figura 1 al microscopio elettronico a scansione) è legata al meccanismo di solidificazione, che procede con la formazione di una struttura dendritica omogenea di sola fase ricca di zinco, e che si completa con la formazione della circostante struttura lamellare detta eutettica (bianca nell'immagine introduttiva, grigia in quella di figura 1). Terminata la solidificazione il materiale 'non ha

il tempo' di far avvenire le modifiche microstrutturali che lo farebbero pervenire alle condizioni di equilibrio e per semplicità si può pensare che la microstruttura si 'congeli' a questo punto. Le modifiche rispetto alla struttura di riferimento, quella di equilibrio, aumentano con la velocità di solidificazione/raffreddamento locale. Con l'aumento di questa la struttura si affina, si riscontra una maggior quantità di eutettico e sono possibili variazioni delle composizioni chimiche delle

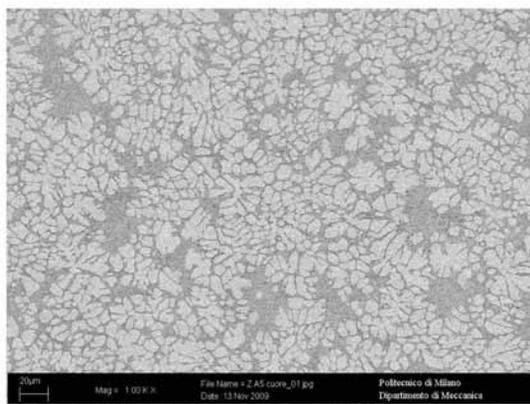
fasi presenti. Considerando che strutture più fini migliorano le proprietà tensili (R_m , $R_{p0,2}$) e la durezza della lega, incrementandone contemporaneamente tenacità e duttilità, si comprendono i vantaggi apportati dai processi che consentono di raggiungerli (la pressocolata anziché la colata in conchiglia o in sabbia). Altre strategie che consentono di ottenere e sfruttare la presenza di strutture fini sono la realizzazione di pareti a spessore sottile (possibile nei getti in zama grazie all'elevata fluidità delle leghe) e la realizzazione di geometrie che non richiedano l'asportazione dello strato superficiale dei getti, caratterizzato da una 'pelle' molto fine (visibile nell'immagine introduttiva). Si comprende inoltre un aspetto importante per i getti: la scelta di un materiale in vista di specifiche richieste in termini di caratteristiche meccanico/fisiche non può prescindere dalla geometria del particolare e dal processo adottato per la sua realizzazione. Ma che cosa cambia tra una lega e l'altra? Nel campo delle leghe zama cambiano le quantità di eutettico, che aumenta con il tenore di rame e di alluminio.

Trattando leghe da fonderia, è doveroso ricordare che i getti potranno contenere dei difetti, aventi diverse cause e corrispondenti morfologie e grado di criticità. È intuitivo collegare la loro presenza a una riduzione di caratteristiche meccaniche. La presenza di difetti facilita drasticamente la propagazione di cricche e riduce la duttilità della lega. La qualità finale di un getto destinato ad applicazioni strutturali dipende quindi dalla quantità e dalla distribuzione di difetti. Con moderni metodi di fusione, la possibilità di simulare i processi di fonderia e le altre strategie di processo messe in atto è possibile avviare nel miglior modo a questi problemi, riducendoli ed orrizzandone la distribuzione, in particolare nelle zone maggiormente critiche.

Proprietà delle leghe zama

Dato il contenuto relativamente modesto di elementi di lega, si potrebbe pensare che le caratteristiche delle leghe zama siano poco differenti da quelle dello zinco. Ciò è vero solo per alcune proprietà fisiche, quali ad esempio la den-

I. Microstruttura tipica di getti in leghe zama osservata in microscopia elettronica a scansione (lega ZL5, getto di spessore 6 mm).

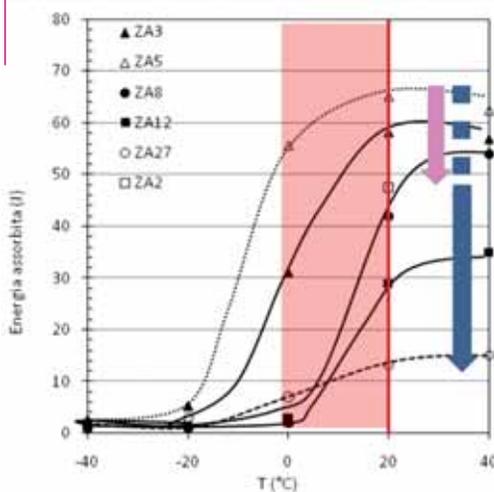


Property	Z39520				Z39523				Z39531				Z39541			
	Alloy 3	Alloy 7	Alloy 5	Alloy 2	Zamak 3	Zamak 7	Zamak 5	Zamak 2	ZA-8	ZA-12	ZA-12	ZA-27	ZA-27	ZA-27	ZA-27	
Ultimate tensile strength MPa	283	263	329	359	283	221-255	374	278-317	310-345	404	430-441	310-324	425			
Tensile yield strength MPa	221	221	229		198	208	290	211	258	320	54	37	55			
Compression yield strength MPa	414	414	600	641	199	210	252	230	235	269	330	257	378			
Elongation % in 2 in. (51 mm)	10	13	7	3	1-2	1-2	1-10	1-3	1-3	4-7	3-6	8-11	1-3			
Shear strength MPa	214	214	262	317	241	275		253	341	226	42	33	47			
Hardness Brinell	82	80	91	100	85	87	103	94	89	100	113	94	119			
Impact strength J	58	58	85	47	20		5.2	25	29		30*	40*	9.4*			
Fatigue strength MPa	47.6	46.9	56.5	58.8	51.7	103		103		117	25	15	21			
Young's Modulus MPa	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.0	12.0	12.0	11.3	11.3	11.3			
Torsional Modulus MPa	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	4.6	4.6	4.3	4.3	4.3			

Tabella 2. Quadro riassuntivo delle tipiche caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente per le leghe di zinco da fonderia che mette in evidenza l'effetto della composizione chimica e del processo di fonderia. [Adattato da Astm B86]

sità ($7.14 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) o il coefficiente di dilatazione termica lineare (circa $30 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Le caratteristiche meccaniche e altre proprietà fisiche delle leghe zama dipendono invece fortemente da come è fatto 'dentro' un getto. Facendo riferimento a quanto sopra discusso sull'effetto di parametri di processo, geometria e difetti è chiaro che le caratteristiche meccaniche non hanno valori direttamente associabili ad una lega ma piuttosto a un dato getto e altresì, in ogni parte di questo, esse possono essere soggette a variazioni. In letteratura tuttavia sono presentate le caratteristiche 'tipiche' delle leghe da fonderia. Quelle meccaniche tipiche a 20 °C indicate dalla normativa americana sulle leghe di zinco da fonderia sono presentate in tabella 2. Scorrendole si osserva che caratteristiche quali R_m , $R_{p0.2}$, durezza e resistenza a fatica migliorano per le leghe con maggiori % di Al e Cu e con l'adozione di processi di fonderia che comportano elevate velocità di raffreddamento. D'altro canto altre caratteristiche come la duttilità, l'allungamento percentuale a rottura, la resistenza all'impatto diminuiscono all'aumentare del contenuto di alluminio, ma sono influenzate positivamente dalla velocità di raffreddamento, concordemente a quanto discusso in precedenza. Una particolarità delle leghe zama rispetto ad

2. Effetto della temperatura di prova sull'energia assorbita in prove di resilienza realizzate su campioni a sezione quadrata di lato 6,35 mm non intagliati. [Fonte dati: Asm Handbook]



altre leghe per getti, quali leghe di alluminio o magnesio, che pur presentano aspetti microstrutturali simili, è il fenomeno dell'invecchiamento, che consiste nella lenta evoluzione della microstruttura inizialmente 'congelata' verso le condizioni di equilibrio. L'evoluzione microstrutturale si ripercuote sulle caratteristiche meccaniche: R_m si riduce progressivamente, rapidamente nelle prime ore e poi sempre più lentamente, fino a raggiungere, nel giro di qualche settimana, valori che si manterranno in seguito sostanzialmente costanti. Sono questi ultimi valori quelli generalmente reperibili in letteratura. Conseguenza dell'invecchiamento è anche un leggero assestamento dimensionale che, come gli altri fenomeni legati alle modificazioni a carico della microstruttura, può essere accelerato mediante il trattamento termico di stabilizzazione che porta il materiale nelle condizioni finali di stabilità. Un altro aspetto da non trascurare pensando alle caratteristiche meccaniche delle leghe zama in vista della loro applicazione ai componenti ingegneristici è la loro sensibilità alle variazioni di temperatura rispetto a quella ambiente. Uno dei maggiori problemi a bassa temperatura di molte leghe metalliche è la loro fragilità, che corrisponde ad un basso assorbimento di energia durante gli urti che causano la rottura dei provini nelle classiche prove di resilienza. Un confronto tra i valori di energia assorbita al variare della temperatura (curve di transizione duttile - fragile) per le leghe di zinco da fonderia ne indica la transizione verso comportamento fragile in un intervallo di circa 20 °C prossimo alla temperatura ambiente (figura 2). Sebbene il campo di temperature in cui si colloca la transizione sia influenzato dalla geometria dei provini utilizzati (minori criticità si attendono ad esempio per spessori sottili e strutture maggiormente affinate), è chiaro che il fenomeno non può essere trascurato nei getti. È evidente altresì che tra le leghe di zinco da fonderia quelle zama, con tenore di Al e Cu contenuti, riducono i rischi di rotture fragili. Nel valutare il comportamento delle leghe a temperature superiori a quella ambiente si devono invece considerare la progressiva riduzione delle caratteristiche tensili (figura 3) e l'insorgere di fenomeni di scorrimento viscoso (creep).

ABBONATI ON LINE



E RISPARMI IL 10%

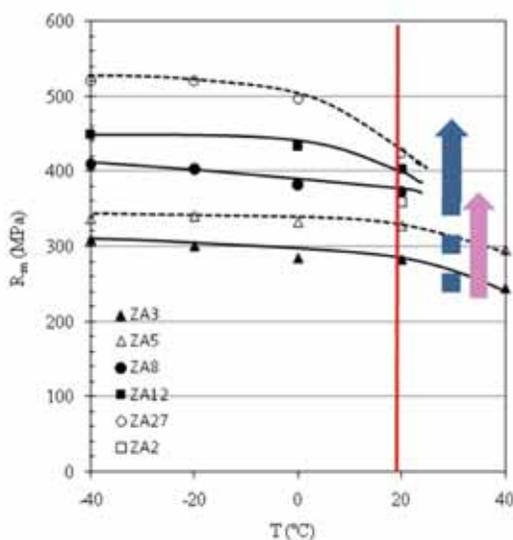
PAGANDO CON LA CARTA DI CREDITO

www.ilb2b.it
www.fieramilanoeditore.it



FIERA MILANO
EDITORE

MATERIALI ▶▶▶



3. Effetto della temperatura di prova sulla resistenza a trazione

di getti in leghe di Zn da fonderia (diametro tratto utile 6,35mm). [Fonte dati: Asm Handbook]

Nelle leghe metalliche le temperature per le quali si manifestano questi fenomeni sono sostanzialmente ricollegabili alla temperatura di fusione, che sappiamo essere particolarmente bassa (inferiore ai 400 °C) nelle leghe zama. Una stima preventiva della temperatura effettivamente raggiungibile nei componenti strutturali è opportuna anche quando questa non è molto superiore a quella ambiente. Ciò non solamente per il già citato decadimento delle caratteristiche tensili, ma soprattutto per la possibilità che si manifesti il creep. Esso può essere facilmente visualizzato come la possibilità di un pezzo di deformarsi plasticamente nel tempo anche sotto una sollecitazione mantenuta costante e a livelli di sforzo modesti. L'accumulo di deformazione plastica e il raggiungimento della rottura finale dei getti avvengono tanto più rapidamente quanto maggiori sono i livelli di sforzo e la temperatura. Mentre lo zinco manifesta creep a sollecitazioni modeste già a temperatura ambiente, le leghe di zinco si comportano meglio, in particolare se le percentuali di alluminio e di rame aumentano: le leghe possono dunque essere applicate, con livelli di sforzo e/o tempi contenuti, a temperature dell'ordine dei 100 °C. Correlazioni tra tempo, sforzo e deforma-

zione plastica accumulata sono disponibili in letteratura per alcune classiche leghe e rappresentano un valido aiuto nel dimensionamento dei getti sulla base delle durate attese o delle condizioni operative previste. Presentando le caratteristiche delle leghe zama è doveroso ricordare due caratteristiche peculiari quali la buona capacità di smorzamento (damping) e le proprietà anti-sparkling, che le rendono idonee ad applicazioni particolari (settore elettrico, minerario...). Una delle preoccupazioni nei confronti dell'utilizzo di leghe di zinco è la modesta resistenza a corrosione di questo metallo, fenomeno che macroscopicamente si presenta con formazioni superficiali biancastre. La resistenza aumenta pas-

sando alle leghe di zinco, ponendo particolare attenzione a limitarne il tenore di impurezze. È tuttavia possibile migliorare decisamente la resistenza a corrosione dei getti mediante rivestimenti superficiali che creano una barriera tra il materiale e l'ambiente che può risultare aggressivo. Tali rivestimenti possono essere utilizzati anche per soli fini estetici o per migliorare la resistenza ad usura del materiale. Data la specificità dell'argomento, ad esso è stata dedicata una relazione nella giornata di studio e l'argomento non è stato approfondito nel presente articolo.

Conclusioni

Sono stati presentati alcuni aspetti metallurgici che consentono di comprendere i fattori microstrutturali, legati a leghe, geometrie e processi, che determinano le proprietà dei getti in leghe zama. Ciò consentirà di far riferimento anche a queste leghe nei processi di identificazione dei materiali idonei per una specifica applicazione.

*E. Gariboldi - Politecnico di Milano,
Dipartimento di meccanica.*

readerservice@fieramilanoeditore.it n.54