

Le leghe da lavorazione plastica

Lo scopo di questa parte è quello di fornire una presentazione tecnica delle principali leghe di alluminio da lavorazione plastica impiegate sotto forma di semilavorati - estrusi e laminati - per la realizzazione di componenti auto.

Riteniamo utile premettere alcune informazioni sulla classificazione e designazione di queste leghe, nonché degli stati strutturali tipici delle condizioni di impiego.

1. CLASSIFICAZIONE/DESIGNAZIONE DELLE LEGHE E DEGLI STATI FISICI

Lo schema più generale di classificazione delle leghe di alluminio prevede la loro suddivisione in leghe da fonderia e leghe da lavorazione plastica.

Per le leghe da fonderia si veda l'appendice II. In questa parte verranno considerate le leghe da lavorazione plastica che rappresentano, sia in termini numerici che di applicazioni, la frazione più importante delle leghe leggere.

Sono definite da lavorazione plastica le leghe il cui utilizzo avviene allo stato di semilavorati, primi fra tutti laminati ed estrusi.

Il principale sistema di designazione di queste leghe è basato sulla composizione chimica ed è di tipo numerico. Tale sistema consiste

nell'indicare ciascuna lega con un gruppo di quattro indici numerici, il primo dei quali individua la serie/famiglia di leghe secondo lo schema seguente:

- 1xxx: alluminio puro, minimo 99,0%;

leghe raggruppate in funzione dei principali elementi di alligazione:

- 2xxx: leghe al rame;
- 3xxx: leghe al manganese;
- 4xxx: leghe al silicio;
- 5xxx: leghe al magnesio;
- 6xxx: leghe al magnesio-silicio;
- 7xxx: leghe allo zinco-magnesio (rame);
- 8xxx: leghe contenenti elementi diversi dai precedenti.

Il secondo indice definisce le eventuali varianti della lega originale, alla quale è riservato l'indice 0.

Le due ultime cifre indicano, nella serie 1xxx, il grado di purezza dell'alluminio, mentre in tutte le altre individuano le singole leghe all'interno della serie di appartenenza.

La prima designazione di questo tipo risale al 1954 e fu introdotta negli Usa dalla Aluminum Association. In tale sistema, ai quattro indici numerici di ciascuna lega vengono pertanto anteposte le lettere AA (es. AA 7075).

Analoga designazione numerica è stata recentemente introdotta

dalla normativa europea. In questo caso, ai quattro indici numerici si antepongono le coppie di lettere EN AW (es. EN AW 7075), dove EN sta per 'European Normalisation' e AW per 'Aluminium Wrought' (leghe di alluminio da lavorazione plastica).

Per una migliore presentazione e comprensione delle leghe da lavorazione plastica, è stato introdotto un ulteriore criterio di classificazione, che prevede la loro suddivisione in: leghe da trattamento termico e leghe da incrudimento, a seconda del meccanismo fisico-strutturale che ne determina il livello finale di resistenza meccanica e, più in generale, la combinazione delle varie proprietà.

Le leghe da trattamento termico (o da bonifica o da invecchiamento, come in altro modo vengono chiamate) appartengono alle serie 2xxx, 6xxx, 7xxx e, parzialmente, 8xxx e vengono usate per la produzione di tutti i principali tipi di semilavorati (estrusi, laminati, forgiati, trafilati). La loro caratteristica peculiare è rappresentata dal fatto che possono presentare un aumento della resistenza meccanica come risposta a determinati trattamenti termici che provocano, dal punto di vista microstrutturale, la formazione di fasi indurenti omogeneamente disperse nella matrice di alluminio.

Nella impostazione più classica i trattamenti atti a realizzare questo processo possono essere così schematizzati:

- trattamento termico ad elevata temperatura per ottenere la massima solubilizzazione degli alliganti;
- raffreddamento rapido (o tempra) per bloccare questa situazione di solubilizzazione;
- trattamento termico a bassa temperatura (invecchiamento naturale) o a medio-alta temperatura (invecchiamento artificiale) durante il quale si ha la formazione vera e propria delle fasi indurenti.

In alcuni casi, al fine di aumentare la resistenza meccanica, vengono intercalati ai trattamenti termici specifici trattamenti di deformazione plastica, realizzando i cosiddetti cicli termo-meccanici.

Di seguito sono riportati gli stati fisici di impiego delle leghe da trattamento termico, con i relativi codici utilizzati per la loro designazione:

- T1: tempra dalla temperatura di trasformazione plastica e invecchiamento naturale;
- T2: tempra dalla temperatura di trasformazione plastica; deformazione plastica a freddo e invecchiamento naturale;
- T3: solubilizzazione, tempra e deformazione plastica a freddo;
- T4: solubilizzazione, tempra e invecchiamento naturale fino ad una condizione di stabilità;
- T5: tempra dalla elevata temperatura di trasformazione

plastica e invecchiamento artificiale fino al massimo della resistenza meccanica;

- T6: solubilizzazione, tempra e invecchiamento artificiale fino al massimo della resistenza meccanica;
- T7: solubilizzazione, tempra e iper-invecchiamento artificiale;
- T8: solubilizzazione, tempra, deformazione plastica a freddo e invecchiamento artificiale;
- T9: solubilizzazione, tempra, invecchiamento artificiale e deformazione plastica a freddo.

Ai codici sopra riportati possono essere aggiunte cifre successive indicanti più complessi cicli termo-meccanici in grado di modificare in modo importante specifiche proprietà delle leghe, quali ad esempio la formabilità, la resistenza alla corrosione e alla tenso-corrosione, la tenacità alla frattura.

Le leghe da incrudimento appartengono alle serie 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx e, parzialmente, 8xxx e vengono in genere utilizzate per la produzione di laminati e trafilati. Esse sono caratterizzate dal fatto che la loro resistenza meccanica può essere incrementata solo mediante deformazione plastica a freddo.

Per queste leghe i trattamenti termici (ricottura) vengono infatti utilizzati solo per ridurre o annullare parzialmente gli effetti della deformazione plastica e realizzare gli stati fisici intermedi tra il ricotto, che ha la minima resistenza meccanica e la massima plasticità, e l'incrudito, che ha la massima resistenza meccanica e la minima plasticità. Di seguito sono riportati gli stati fisici di impiego delle leghe da incrudimento, con i relativi codici utilizzati per la loro designazione:

- F: grezzo di produzione. Non sono garantiti valori di resistenza meccanica;
- O: completa ricottura;
- H: incrudimento per deformazione dopo ricottura, con le seguenti varianti:
 - H1: solo incrudimento per deformazione. Una seconda cifra indica il grado di incrudimento;
 - H2: incrudimento per deformazione e parziale ricottura. Una seconda cifra indica il grado di incrudimento residuo;
 - H3: incrudimento per deformazione e stabilizzazione a medio-bassa temperatura. Una seconda cifra indica il grado di incrudimento residuo;
 - H4: incrudimento per deformazione e parziale ricottura dovuta al successivo trattamento di verniciatura.

E' inoltre previsto l'impiego di una terza cifra per indicare lievi modificazioni di proprietà rispetto ad uno stato Hxx.

2. CARATTERISTICHE GENERALI DELLE LEGHE DI ALLUMINIO

Come prima evidenziato, le leghe di alluminio da lavorazione plastica vengono classificate in funzione della composizione chimica all'interno di otto famiglie/serie che si distinguono fra loro per i principali costituenti di lega o alliganti; dagli alliganti dipendono in ultima analisi le proprietà fondamentali che contraddistinguono le serie stesse. Le proprietà base delle principali famiglie di leghe sono riassunte di seguito.

2.1. Serie 1xxx (alluminio puro)

I vari tipi di alluminio si contraddistinguono in funzione della purezza o titolo, che non risulta mai inferiore al 99,0%.

Principali caratteristiche: bassa resistenza meccanica, buona duttilità, elevata conducibilità elettrica, ottima resistenza alla corrosione, elevata attitudine alla finitura superficiale.

Principali settori applicativi: industria elettrica, chimica e petrolchimica, edilizia, decorazioni.

2.2. Serie 2xxx (leghe alluminio-rame)

Il rame è il principale alligante; altri importanti elementi presenti in alcune leghe sono il magnesio e il silicio, in grado di influenzare il processo di invecchiamento, e il manganese e il cromo, per il controllo della ricristallizzazione e quindi della granulazione.

Principali caratteristiche: elevata resistenza meccanica, anche a temperature medio-alte, modulo elastico superiore a tutte le altre leghe, difficile saldabilità, bassa resistenza alla corrosione.

Principali settori applicativi: industria aerospaziale, armamenti, meccanica, sport.

2.3. Serie 3xxx (leghe alluminio-manganese)

Il manganese è il principale alligante, accompagnato dal magnesio, in alcuni tipi di leghe per incrementare la resistenza meccanica.

Principali caratteristiche: elevata formabilità, ottima saldabilità, buona resistenza alla corrosione, medio-basse caratteristiche meccaniche.

Principali settori applicativi: edilizia, imballaggio, tubi elettrosaldati, scambiatori di calore.

2.4. Serie 5xxx (leghe alluminio-magnesio)

Il magnesio è il principale elemento di alligazione; altri importanti elementi spesso presenti sono il manganese e il cromo, in grado di controllare i processi di ricristallizzazione.

Principali caratteristiche: resistenza meccanica crescente all'aumentare del tenore di magnesio, buona resistenza alla corrosione - specie in ambiente marino - buona formabilità, buona saldabilità. Principali settori applicativi: edilizia, costruzioni navali, industria chimica e alimentare, trasporti e meccanica.

2.5. Serie 6xxx (leghe alluminio-magnesio-silicio)

E' la famiglia di leghe più utilizzata in assoluto per le combinazioni di proprietà che queste leghe consentono. Il magnesio e il silicio sono i principali alliganti. Altri importanti elementi sono il rame, che interviene nel processo di invecchiamento, e il cromo e manganese, per il controllo della ricristallizzazione.

Principali caratteristiche: elevata formabilità a caldo, tanto da essere considerate le leghe da estrusione per eccellenza, buona deformabilità a freddo negli stati ricotto e T4, buona resistenza alla corrosione, ottima saldabilità, caratteristiche meccaniche da medie a medio alte in funzione del tenore di alliganti.

Principali settori applicativi: edilizia, strutture, meccanica, trasporti terrestri e navali, sport.

2.6. Serie 7xxx (leghe alluminio-zinco)

Lo zinco è considerato il principale elemento di alligazione, anche se magnesio e rame sono in genere presenti, singolarmente o abbinati, con notevole influenza sui processi di invecchiamento. Altri elementi presenti sono il cromo, il manganese e lo zirconio, per il loro effetto sui fenomeni di ricristallizzazione.

Principali proprietà: elevata resistenza meccanica, specie in presenza di rame, buona saldabilità e resistenza alla corrosione in assenza di rame.

Principali settori applicativi: industria aerospaziale, armamenti, bulloneria, meccanica.

2.7. Serie 8xxx

Più che di una famiglia si tratta di un contenitore, nel quale confluiscono leghe che per la loro composizione non possono rientra-

re nei precedenti raggruppamenti. Le composizioni delle leghe di questa serie risultano molto diverse tra loro, come molto diverse possono risultare le loro applicazioni. Basterà ricordare a titolo di esempio che sono presenti leghe per conduttori elettrici, per foglio sottile da imballaggio e alcune complesse leghe contenenti litio per aeronautica.

2.8. Effetti degli elementi più comuni

A completamento di quanto sopra, può essere utile riassumere su quali proprietà esercitano effetti positivi i più comuni elementi presenti nelle leghe di alluminio:

- **magnesio:** resistenza meccanica per invecchiamento e per invecchiamento (in combinazione con silicio, rame e zinco);
- **silicio:** fluidità delle leghe allo stato liquido; resistenza meccanica per invecchiamento in combinazione con magnesio; resistenza meccanica, in combinazione con il ferro sull'alluminio serie 1xxx;
- **rame:** fluidità delle leghe allo stato liquido; resistenza meccanica, anche a caldo, per invecchiamento in combinazione con zinco e magnesio;
- **zinco:** resistenza meccanica, in combinazione con rame e magnesio;
- **ferro:** controllo della granulazione in assenza di antiricristallizzanti specifici; satinabilità chimica; resistenza meccanica nell'alluminio serie 1xxx;
- **manganese, cromo, zirconio:** controllo, singolarmente o in combinazione, dei fenomeni di ricristallizzazione durante i trattamenti termici, con effetti rilevanti sulla granulazione delle leghe;
- **nicel:** resistenza meccanica a caldo;
- **piombo, stagno:** lavorabilità all'utensile, in abbinamento o meno con il bismuto;
- **titanio, boro:** affinazione del grano di colata.

3. LEGHE PER SEMILAVORATI ESTRUSI

Con il termine 'semilavorati' si intendono tutti i prodotti in lega di alluminio ottenuti mediante un processo di trasformazione plastica a caldo e/o a freddo dei formati di fonderia di partenza, quali billette e placche. I principali tipi di semilavorati sono rappresentati da estrusi e laminati.

Gli estrusi (o profilati) vengono prodotti con l'impiego di una macchina chiamata 'pressa da estrusione', forzando una billetta opportunamente preriscaldata attraverso una fenditura ricavata in una matrice che ha la geometria della sezione trasversale dell'estruso desiderato. I profilati possono essere aperti o chiusi, pieni o cavi, simmetrici o asimmetrici, con una varietà di sezioni rette praticamente illimitata. Gli unici limiti sono rappresentati da:

- dimensione massima, che viene espressa dal diametro del cerchio più piccolo capace di contenere l'estruso. Si possono raggiungere valori di 700-800 mm, mentre i valori di massima reperibilità sul mercato sono inferiori ai 300 mm;
- spessore, il cui minimo valore non può scendere di norma sotto 1-1,2 mm;
- il peso per unità di lunghezza, che può variare da qualche decina di g/m a qualche decina di Kg/m;
- lunghezza, che può raggiungere valori massimi di diverse decine di metri.

Il tutto, naturalmente, in funzione della geometria dell'estruso, del tipo di pressa utilizzata e del tipo di lega.

L'impiego degli estrusi nel settore auto è relativamente recente rispetto a quello dei laminati e - soprattutto - dei getti. La elevata

Tabella 1 - Principali leghe per estrusi impiegate nell'auto

| Leghe | Principali applicazioni |
|-------|--|
| 1050 | Tubi per scambiatori di calore |
| 3003 | Radiatore, raffreddatori aria condizionata |
| 6005A | Parti di space frame, sedili e sospensioni |
| 6008 | Space-frame |
| 6014 | Space-frame |
| 6060 | Supporti motore, parti molto deformate |
| 6061 | Guide sedili, paraurti, parti ABS, sub frame |
| 6063 | Parti di space-frame e sub-frame, struttura anti crash |
| 6082 | Barre laterali antimpatto, telaio portiere, space-frame, sub-frame |
| 6106 | Parti di space-frame e di strutture anti crash |
| 7003 | Paraurti |

flessibilità di forma degli estrusi e la varietà di leghe (e quindi di caratteristiche) disponibile ne stanno comunque ampliando sempre più l'utilizzo, che trova nello space-frame la punta di diamante.

Le leghe impiegate per gli estrusi appartengono essenzialmente alla serie 6xxx (leghe Al-Mg-Si) e comprendono alcune leghe base, tipo 6060 e 6061, a cui si aggiunge una vasta gamma di varianti brevettate dai vari produttori per ottimizzare determinate proprietà. Altre leghe per estrusi appartengono alle serie 1xxx e 3xxx.

La tabella 1 mostra le principali leghe impiegate nell'auto sotto forma di estrusi, con le relative principali applicazioni. Si tratta per la maggior parte di leghe tradizionali, che trovano impiego anche in molti altri settori. Alcune invece sono di recente formulazione (6008, 6014 e 6106) e presentano determinate proprietà ottimizzate proprio in relazione all'impiego nel settore auto e, in alcuni casi, all'applicazione prevista.

Le schede che seguono (da pag. 160 a pag. 169) sintetizzano per le leghe della precedente tabella le principali proprietà metallurgiche e tecnologiche. Per quanto riguarda le leghe più recenti sono disponibili solo alcune caratteristiche.

4. LEGHE PER SEMILAVORATI LAMINATI

I laminati sono semilavorati di sezione rettangolare e spessore uniforme, ottenuti per laminazione a caldo e a freddo di prodotti primari di fonderia denominati placche.

A seconda dello spessore i laminati si dividono in: piastre (spessore superiore a 6 mm), lamiere (spessore tra 6 e 0,2 mm), foglio (spessore inferiore a 0,2 mm).

Vengono forniti in coil (lamiere e fogli) o in singoli spezzoni (lamiere e piastre), con larghezza variabile, fino ad oltre 2 m, con diversa finitura superficiale: grezza, lucida, pretrattata, verniciata, laccata, ossidata.

Come per gli estrusi, anche i laminati offrono una vasta varietà di leghe e quindi di caratteristiche, adattabili a moltissime applicazioni.

Per quanto riguarda il settore dell'auto, i laminati rappresentano, dopo i getti, la frazione più utilizzata tra i formati in lega leggera, trovando applicazione in molti componenti particolarmente leggeri e performanti.

Le leghe appartenenti alle serie 5xxx e 6xxx sono le più utilizzate, grazie alla ottima combinazione di resistenza meccanica, resi-

Tabella 2 - Principali leghe per laminati impiegati nell'auto

| Leghe | Principali applicazioni |
|-----------|--|
| 1050 | Ripari calore, alette per scambiatori calore |
| 3003 | Scambiatori di calore |
| 5005 | Ripari calore, parti strutturali |
| 5052 | Chassis, parti strutturali |
| 5454 | Ruote |
| 5754 | Chassis, assali, pannelleria interna |
| 5182 | Parti strutturali, pannelleria interna |
| 5083 | Parti strutturali |
| 6016 | Scocca, pannelleria esterna |
| 6181A | Scocca, pannelleria interna |
| 6111-6022 | Scocca, pannelleria esterna |

stenza alla corrosione e doti di formabilità. Altre leghe, a minor consumo, appartengono alle serie 1xxx e 3xxx.

La tabella 2 mostra le principali leghe impiegate nell'auto come laminati, con le relative principali applicazioni.

Come per gli estrusi, alcune leghe (6016, 6022, 6111 e 6181A) sono state introdotte recentemente in relazione all'applicazione nel settore auto. Anche in questi casi non sono disponibili tutte le proprietà che normalmente caratterizzano una lega.

Si può inoltre rilevare, sempre in analogia con gli estrusi, che alcune applicazioni risultano realizzate con leghe diverse. Ciò è in genere legato alla scelta da parte del produttore di auto del fornitore di semilavorati, spesso in grado di proporre un proprio completo pacchetto di leghe, sia tradizionali che innovative.

Le schede che seguono (da pag. 170 a pag. 178) sintetizzano, per le leghe riportate in tabella, le principali proprietà metallurgiche e tecnologiche. Per quanto riguarda la 1050 e la 3003 si rimanda alle schede inserite nelle leghe per estrusi.