

# Proprietà e caratteristiche dei materiali per stampi in alluminio: la loro convenienza per lo stampaggio dei termoplastici

G. Bevan, C. Torriani

*Il presente lavoro si propone di promuovere la conoscenza delle leghe di alluminio e di fornire ai costruttori di utensili una panoramica dei materiali disponibili e delle loro caratteristiche.*

## INTRODUZIONE

Un titolo alternativo per questa relazione avrebbe potuto essere: "Una lega in alluminio possiede tutte le caratteristiche richieste ad un materiale per stampi? Se sì, perché esistono così tante leghe di alluminio per stampi fra cui scegliere?" Ovviamente non esiste una lega di alluminio che possieda tutte le caratteristiche richieste, ma questa condizione la si trova anche nel mondo degli acciai da utensili.

Molti costruttori di utensili apprezzano la varietà di acciai da utensili disponibili sul mercato e quindi la vasta gamma di proprietà e caratteristiche che questi sono in grado di offrire.

Tuttavia, questo apprezzamento raramente si estende alle leghe di alluminio.

Il presente lavoro si propone di promuovere la conoscenza delle leghe di alluminio e di fornire ai costruttori di utensili una panoramica dei materiali disponibili e delle loro caratteristiche.

Si tratta di un sistema riconosciuto internazionalmente; registrazioni di leghe di alluminio vengono effettuate con la Aluminium Association, in Washington D.C.

Grazie alla loro composizione chimica, è possibile innalzare la resistenza delle serie 2XXX, 6XXX e 7XXX mediante trattamento termico. Queste leghe sono generalmente considerate a resistenza medio-alta.

Le serie 1XXX, 3XXX e 5XXX non rispondono alla stessa maniera.

La loro resistenza è determinata dalla quantità e dalla natura degli alliganti che le compongono e dalla deformazione a freddo.

In aggiunta alle "leghe a quattro cifre", molti produttori hanno sviluppato leghe dalla composizione brevettata, che non sono registrate dalla Aluminium Association.

Un marchio brevettato, quale Alumec 89®, si riferisce ad esempio ad una lega simile. (Alumec 89 è un marchio brevettato da Luxfer Group Ltd.)

La resistenza è una proprietà utile per differenziare le leghe di alluminio, come mostra la fig. 1.

## LEGHE DI ALLUMINIO

### SISTEMA DI DESIGNAZIONE A QUATTRO CIFRE

Per identificare le leghe di alluminio si utilizza un sistema di designazione a quattro cifre, dove la prima cifra indica la famiglia di appartenenza, in base al principale elemento alligante.

Queste serie si suddividono in leghe trattabili termicamente e leghe non trattabili termicamente, come illustrato nella tabella 1.

Serie	Principale elemento alligante	
1XXX	Mn	
3XXX		Non trattabile
5XXX	Mg	Termicamente
2XXX	Cu	
6XXX	Mg+Si	Trattabile termicamente
7XXX	Zn	

Tab. 1

Gary Bevan, British Aluminium Plate

Claudio Torriani, Thyssen Italia spa

Memoria presentata al convegno AIM  
"Stampi in lega di alluminio per materiali termoplastici",  
Vicenza, 28 settembre 1999

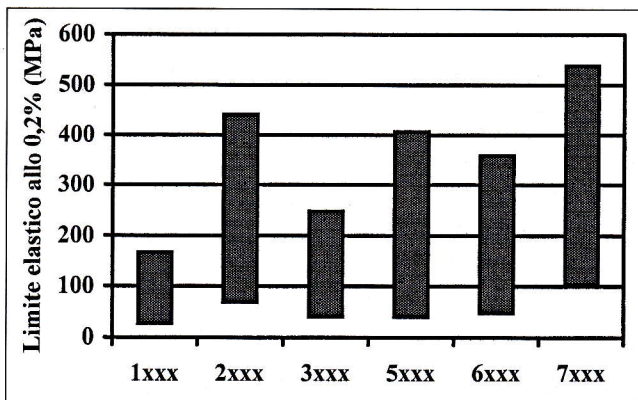


Fig. 1 - Limite elastico allo 0,2% delle leghe di alluminio [1].

Fig. 1 - Elastic limit of 0.2% of aluminium alloys [1].

Sono comunque molte altre le caratteristiche da considerare nella scelta di un materiale per stampaggio plastica.

## PERCHÉ LE LEGHE DI ALLUMINIO VENGONO USATE PER LO STAMPAGGIO PLASTICA?

Le leghe di alluminio posseggono molte proprietà che le rendono appetibili come materiali per stampi.

- Lavorabilità – degli elevati quozienti di asportazione di

truciolo rendono possibili tempi di approntamento rapidi e costi di lavorazione minori rispetto all'acciaio

- Conducibilità termica – più di tre volte superiore rispetto a quella dell'acciaio: consente di ridurre i cicli di stampaggio
- Bassa densità – un terzo di quella dell'acciaio: un peso ridotto è importante soprattutto nel caso di stampi di grosse dimensioni

Se si considerano le cose puramente dal punto di vista dello stampista, le leghe di alluminio sono molto facili da lavorare e rappresenterebbero la prima scelta per molti costruttori di utensili.

**ALLORA PERCHÉ NON SI UTILIZZA PIÙ ALLUMINIO NELLO STAMPAGGIO PLASTICA?**

Si potrebbe anche chiedere "Perché si usa così tanto acciaio nello stampaggio plastica?"

Le ragioni sono numerose.

Il processo di stampaggio e la durata dei cicli determinano in parte le condizioni di lavoro del materiale dello stampo. Altri fattori, in grado di influenzare le condizioni di lavoro, sono la geometria dello stampo e l'ambiente in cui lavora.

La risposta del materiale dello stampo a queste condizioni dipende dalle sue proprietà e caratteristiche e determina i rendimenti dello stampo stesso.

Poiché l'utilità di una lega di alluminio nello stampaggio plastica dipende ampiamente dalle sue proprietà, il grado di consumo raggiunto dall'alluminio è strettamente collegato alla disponibilità sul mercato di leghe con proprietà e caratteristiche appetibili.

In altre parole: gli stampisti possono usare unicamente ciò che è disponibile.

**DISPONIBILITÀ DELLE LEGHE**

Gli stampisti generalmente richiedono pezzi relativamente piccoli, ricavati da piastra, in piccole quantità e con tempi di consegna brevissimi.

Questa non era e non è la modalità tradizionale con cui i produttori di alluminio vendono i loro prodotti.

Essi producono grossi quantitativi in piastre di grosse dimensioni – solitamente 2-3000 kg per spessore, per dimensioni di 1250 x 2500 mm, con tempistiche calcolate in settimane piuttosto che in giorni.

Per questa ragione gli stampisti tendono ad approvvigionarsi da distributori piuttosto che direttamente dal produttore.

In questo modo il tipo di leghe per loro disponibili dipende da quali leghe il distributore decide di tenere in magazzino, cosa che a sua volta dipende dalla domanda e quindi dalla propensione del distributore di tenere a stock leghe di vasto consumo, adatte ai più ampi campi di applicazione.

Agli albori dell'impiego dell'alluminio per lo stampaggio, dai distributori era disponibile solo un numero limitato di leghe. Si trattava solitamente di leghe da costruzione, ad impiego universale, quali la 5083 e la 6082-T651.

Inoltre era limitato anche il sagomario degli spessori disponibili, in base alle diverse capacità di taglio dei distributori. Quando l'industria dello stampaggio plastica ha iniziato a riconoscere il vantaggio dell'impiego dell'alluminio, è cominciato l'impiego di queste leghe commerciali nei cosiddetti processi "a bassa domanda".

Tali processi includono semplici stampi prototipo e stampi per soffiaggio.

L'impiego in simili campi applicativi rappresentava una penetrazione relativamente limitata nel mercato tradizionale dell'acciaio per stampi.

Nell'ambito degli stampi per soffiaggio, erano usati preva-

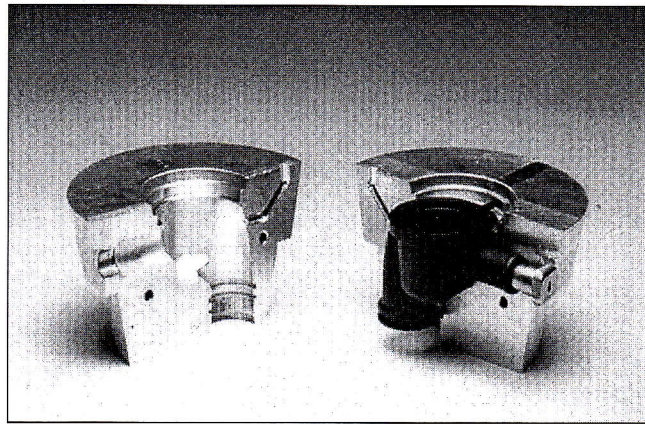


Fig. 2 - Prototipo di semplice stampo a iniezione (Dudley Associates, UK).

Fig. 2 - Prototipo of simple injection mould (Dudley Associates, UK).

lentemente stampi prodotti in leghe a media resistenza, quali la 6082-T651, piuttosto che alluminio colato.

Negli anni '70, la lega 7075-T651, originariamente sviluppata per l'industria aeronautica, è diventata sempre più disponibile presso i distributori, poiché la domanda per leghe a maggiore resistenza cresceva in altre realtà industriali.

Ciò ha dato agli stampisti l'impulso per sfruttare le possibilità offerte dalle più elevate resistenze della 7075-T651 in altri campi applicativi.

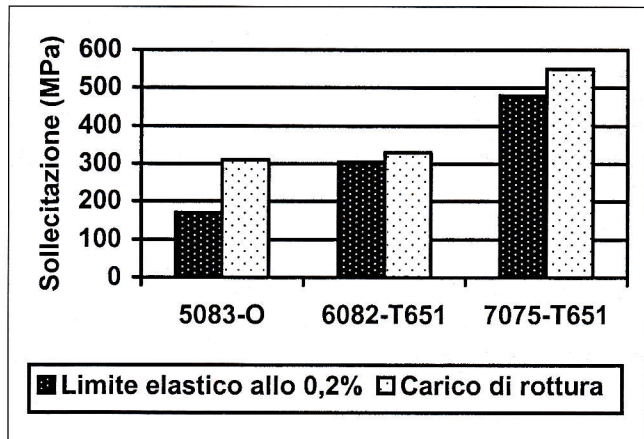


Fig. 3 - Caratteristiche tensili tipiche per le leghe 5083-0, 6082-T651 e 7075-T651 (piastra 50 mm).

Fig. 3 - Typical tensile characteristics for 5083-0, 6082-T651 and 7075-T651 alloys (50 mm sheet).

L'introduzione della lega 7075-T651 ha reso possibile l'impiego delle leghe di alluminio in processi produttivi dello stampaggio a iniezione con produzioni basse e medie.

Molti dei campi applicativi erano per prodotti di largo consumo costruiti in materie plastiche di facile stampaggio, quali PP, ABS e PS, dove le tempistiche di realizzazione del progetto sono critiche.

Un esempio per una simile applicazione è dato dagli espositori di prodotto usati nei punti vendita. (fig. 4)

Con l'aumentare dell'utilizzo della 7075-T651 negli anni '70, la British Aluminium Plate (allora Alcan Plate), ha sviluppato la lega Alumec 79., specificatamente per l'industria dello stampaggio plastica.

Questo prodotto ha colmato molte delle lacune della 7075-T651, come andremo a spiegare più avanti. Inoltre, British Aluminium Plate è stata il primo produttore a sviluppare

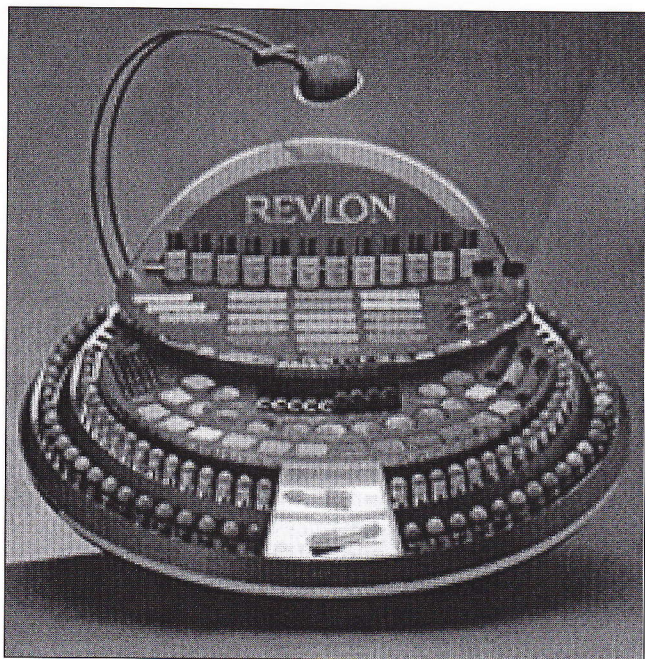


Fig. 4 - Espositore prodotto (Consumer Promotions International, UK).

Fig. 4 - Product displayer (Consumer Promotions International, UK).

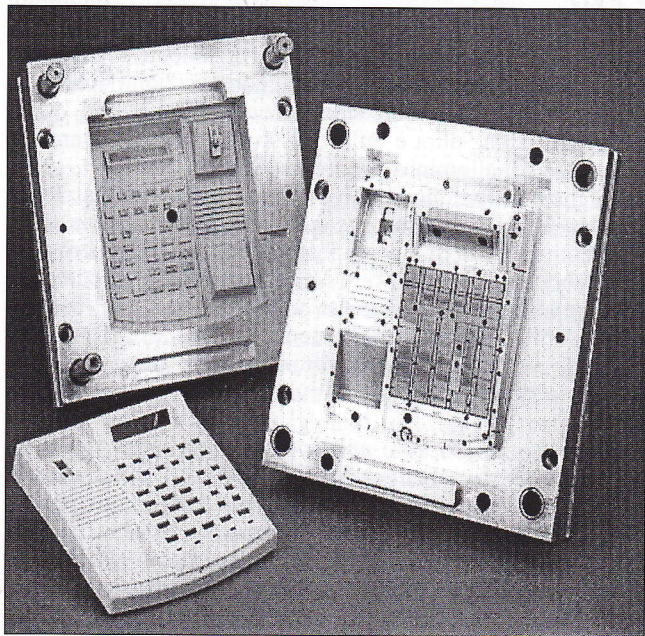


Fig. 5 - Scatola di radiotelefono stampata a iniezione. Stampo costruito in Alumecc 89®.

Fig. 5 - Telephone case produced by injection moulding. Mould made of Alumecc 89®.

piastre di grossi spessori, trattate termicamente e detensione. Questo ha permesso di aumentare il sagomario tradizionale di spessori disponibili da 105 a 305 mm.

Alla fine degli anni '80 l'industria dello stampaggio in Europa e negli USA ha iniziato a riconoscere l'importanza del ruolo che le leghe di alluminio

potevano svolgere nel ridurre i tempi di costruzione degli stampi, per i cosiddetti "particolari tecnici" dello stampo, come mostra la fig. 5.

Questo ha rappresentato un importante cambiamento per le leghe di alluminio.

La produzione di tali particolari richiedeva maggiori esigenze all'alluminio che non lo stampaggio di prodotti di largo consumo.

Le resine sono maggiormente abrasive, le tolleranze dimensionali molto più ristrette, le pressioni di iniezione maggiori e la durata in esercizio solitamente più lunga.

Inoltre, le geometrie di questi particolari spesso rendevano necessario l'ampliamento del sagomario disponibile.

British Aluminium Plate ha reagito a questi cambiamenti sviluppando la lega Alumecc 89, fino allo spessore 305 mm.

Questa lega è notevolmente più resistente rispetto sia alla 7075-T651/T652 sia all'Alumecc 79, come evidenziato nella fig. 6.

Più recentemente, British Aluminium Plate ha esteso il sagomario dell'Alumecc 89 fino allo spessore 500 mm, e ha sviluppato la lega Alumecc 99, un prodotto altoresistenziale, resistente alla corrosione, adatto agli stampi per soffiaggio.

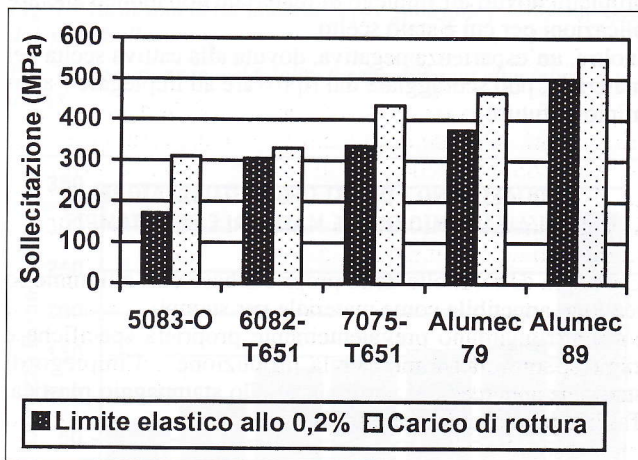


Fig. 6 - Caratteristiche tensili tipiche delle leghe 5083-O, 6082-T651, 7075-T651, Alumecc 79 e Alumecc 89 (piastra 150 mm).

Fig. 6 - Typical tensile characteristics of 5083-O, 6082-T651, 7075-T651, Alumecc 79 and Alumecc 89 alloys (50 mm sheet).

#### CONSAPEVOLEZZA DEL PRODOTTO FRA STAMPISTI

In tutto il mondo, gli stampisti si sono sempre mostrati molto conservatori nell'avvicinarsi ad un nuovo materiale per stampi, anche se questa situazione sta cambiando, con la continua riduzione dei tempi di realizzazione degli stampi richiesta dal mercato.

L'industria della costruzione stampi è frammentata e comprende molte piccole aziende. Inoltre, gli stampatori talvolta si assumono la responsabilità di specificare il materiale con cui costruire lo stampo. Quindi è importante che i vantaggi ed i limiti dell'alluminio quale materiale da stampi siano effettivamente comunicati agli stampisti ed a coloro che hanno la responsabilità di scegliere il materiale da impiegare.

Tradizionalmente i produttori di alluminio non hanno mai indirizzato le loro campagne promozionali verso quest'industria così frammentata.

Inoltre, come già detto, i distributori hanno un ruolo vitale nel fornire agli stampisti il materiale per gli stampi.

Negli anni '80, British Aluminium Plate ha riconosciuto l'importanza di rendere la lega Alumecc 79, disponibile sul mercato, mediante distributori specializzati in materiali per stampaggio.

Distributori simili provengono spesso dal settore dell'acciaio e sono specializzati nel promuovere i vantaggi di materiali di elevata qualità destinati allo stampaggio.

Allo stesso tempo, i distributori di acciai da utensili stavano diventando consapevoli dell'aumento nel consumo delle leghe di alluminio nel campo dello stampaggio.

MEMORIE

3/2000

Anziché reagire nella maniera tradizionale, combattendo la concorrenza dell'acciaio, alcuni di questi distributori hanno preferito aggiungere l'alluminio alla loro gamma di prodotti per stampaggio.

Nel 1984 British Aluminium Plate (allora Alcan Plate) ha nominato Thyssen quale distributore in esclusiva dell'Alumec 79, in Francia. Questo stretto rapporto di collaborazione continua ancora oggi e, negli ultimi anni, la nostra società ha lavorato molto strettamente con Thyssen Italia, ora Thyssen Krupp Acciai su basi analoghe.

Ovviamente, per poter approfittare dei vantaggi delle leghe di alluminio, gli stampisti e coloro che hanno il compito di indicare i materiali da impiegare devono essere consapevoli delle proprietà, delle caratteristiche e dei limiti dei materiali a loro disposizione.

La consapevolezza dei limiti delle leghe di alluminio commercialmente disponibili è importante se si vogliono evitare problemi dovuti all'impiego di materiale non idoneo alle applicazioni per cui è stato scelto.

Inoltre, un'esperienza negativa, dovuta alla cattiva scelta del materiale, può scoraggiare dal riprovare ad impiegare l'alluminio in futuro.

#### QUALI SONO I DUBBI DEGLI UTILIZZATORI SULL'ALLUMINIO QUALE MATERIALE PER STAMPI?

Come già detto, molte delle proprietà base dell'alluminio lo rendono appetibile come materiale per stampi.

I dubbi riguardano prevalentemente proprietà specifiche e caratteristiche rilevanti per la produzione e l'impiego di stampi in applicazioni particolari dello stampaggio plastica. Tali dubbi possono essere così riassunti:

##### Per la costruzione dello stampo

- Come si comportano le diverse leghe durante i processi di lavorazione tradizionali e di elettroerosione?
- Che livello di finitura superficiale si può raggiungere mediante lucidatura?
- Come rispondono i diversi materiali ai trattamenti superficiali?
- Queste caratteristiche variano con l'aumentare degli spessori delle piastre?
- Che grado di omogeneità hanno queste caratteristiche su grosse sezioni?
- Le leghe di alluminio possono venir riparate mediante saldatura?

##### Per lo stampaggio plastica

- Quanti pezzi produrrà lo stampo?
- Il materiale resisterà a danneggiamenti delle zone di chiusura per tutto il tempo di esercizio dello stampo?
- Gli estrattori subiranno dei danni?
- In che modo gli spigoli vivi influenzano i rendimenti?
- Superfici lucidate e fotoincise manterranno il grado di finitura fino a fine vita dello stampo?
- In che misura variano queste caratteristiche sullo spessore di grosse sezioni al traverso?
- In che misura variano queste caratteristiche ad elevate temperature?
- Che grado di resistenza alla corrosione presenta l'alluminio nei canali di raffreddamento?
- Quali sono i rendimenti delle zone di taglio degli stampi soffiaggio?

Per un produttore di materiali per stampi, queste domande si correlano alle specifiche caratteristiche delle diverse leghe:

- Composizione chimica
- Caratteristiche meccaniche (resistenza alla trazione e alla compressione, durezza e resistenza alla fatica)

- Microstruttura
- Lavorabilità
- Saldabilità
- Resistenza alla corrosione

#### COMPOSIZIONE CHIMICA

Questo è uno degli aspetti fondamentali della tecnologia dell'alligazione.

Insieme alle condizioni del processo produttivo, la composizione chimica influenza virtualmente tutte le proprietà e caratteristiche di un materiale.

Le leghe usate per stampaggio plastica provengono solitamente dalle serie 2XXX, 5XXX, 6XXX o 7XXX.

Le leghe disponibili sul mercato con un marchio commerciale possono avere una composizione chimica già registrata (o una variante) dalla Aluminium Association, oppure possono avere composizione chimica brevettata.

I prodotti Alumec - Alumec 79, Alumec 89 e Alumec 99 - hanno composizione chimica brevettata, appartengono comunque alla famiglia Al-Zn (serie 7XXX).

La risposta di un materiale ai trattamenti superficiali e alla saldatura è fortemente influenzata dalla composizione chimica.

I trattamenti superficiali possono comprendere:

- Rivestimento al Ni chimico
- Rivestimento al Cr, mediante processo elettrolitico
- Anodizzazione dura
- PVD

I processi di rivestimento al nickel e di rivestimento elettrolitico al cromo sono due tipologie di trattamento superficiale che non vengono influenzati dalla composizione della lega di base, al contrario della anodizzazione dura.

L'anodizzazione dura è un processo usato specificatamente sulle leghe di alluminio (e di magnesio).

Le leghe di alluminio hanno già naturalmente uno strato di ossido ( $Al_2O_3$ ), che protegge dall'attacco corrosivo in molti ambienti. Si tratta di un composto molto duro, che però contribuisce poco a migliorare le caratteristiche meccaniche della superficie poiché è molto sottile.

Il rivestimento di  $Al_2O_3$  fortemente anodizzato si forma per reazione elettrochimica dell'alluminio con l'ossigeno e produce uno strato di ossido relativamente spesso, di solito 50 micron.

Per superfici sottoposte ad anodizzazione forte sono stati calcolati valori di durezza fino a 70 HRC e, nelle prove di resistenza all'usura, superfici anodizzate hanno superato addirittura i rendimenti ottenuti con acciaio cromato.

Oltre alla migliorata resistenza all'usura, i rivestimenti anodizzati evidenziano anche una migliorata resistenza alla corrosione nelle zone di figura e negli inserti stampo.

Tutte le leghe di alluminio possono venire anodizzate, ma alcune reagiscono meglio di altre a questo tipo di trattamento.

Serie	Anodizzabilità	Resistenza all'usura	Resistenza alla corrosione
1XXX	E	E	E
2XXX	M	M	B
3XXX	B	E	E
5XXX	B	E	E
6XXX	B	E	E
7XXX	E	B	M

Tab. 2 - Proprietà delle serie di leghe di alluminio in relazione all'anodizzazione (E=eccellente; B=Buono; M=Mediocre).

Tab. 2 - Properties of the aluminium alloy series as related to anodizing (E=excellent; B=good; M=Mediocre).

La tabella 2 mostra le proprietà generali delle serie di leghe in rapporto al trattamento di anodizzazione.

La crescita dello strato di ossido mediante anodizzazione è legata chimicamente al materiale della matrice ed è facilmente misurabile. In caso di un rivestimento di 50 micron, si verificherebbe una crescita di 25 micron.

Gli altri 25 micron si trovano al di sotto della superficie metallica originaria e sono indicati come strato di penetrazione. Questo rapporto 1:1 fra lo strato "di crescita" e lo strato di "penetrazione" lo si riscontra per la maggior parte delle leghe di alluminio e per la maggior parte degli spessori del rivestimento.[2]

Se da un lato l'anodizzazione può migliorare la resistenza all'usura e alla corrosione, dall'altro può produrre effetti negativi su altre caratteristiche importanti.

La conducibilità termica può risultarne diminuita, in quanto l'ossido di alluminio è un buon isolante termico. [2] Quindi l'anodizzazione può ridurre l'effetto positivo che l'alluminio per stampi ha sulle tempistiche dei cicli produttivi e sull'uniformità della temperatura sulle sezioni.

Anche la resistenza alla fatica risulta ridotta a causa dell'introduzione di tensioni ed alla formazione di cricche all'interno dello stesso strato di rivestimento. [2]

Tali cricche possono agire come punti di innesco di cricche da fatica e quindi ridurre la vita di uno stampo.

Gregson, Newman e Gray[3] hanno scritto che il processo di anodizzazione ha un effetto negativo sulla resistenza alla fatica della lega 7010 allo stato T7451 e questo principio generale può essere applicato alla maggior parte delle leghe di alluminio.

Anche la saldabilità è influenzata dalla composizione chimica. Nella maggior parte delle applicazioni tecniche, il termine "saldabilità" si riferisce alla saldatura per giunzione di due o più parti unite insieme così da essere in grado di resistere ai carichi.

Con questa definizione, molte delle leghe utilizzate nello stampaggio non sarebbero da considerare saldabili. La fig. 7 mostra come la saldabilità per giunzione varia a seconda della composizione chimica.

Per gli stampisti la saldatura serve soprattutto per riparare o modificare gli stampi, piuttosto che per unire due parti (saldatura per giunzione).

Questo implica aggiungere piccole quantità di metallo per mutare la forma di una figura. Per questo motivo, leghe comunemente non ritenute saldabili possono in realtà venir saldate per riparazioni o modifiche dell'utensile. Comunque le leghe a miglior saldabilità sono anche quelle più semplici ad essere riparate di saldatura.

La fig. 7 mostra come varia la saldabilità per le diverse serie di leghe di alluminio. Generalmente una lega non è considerata saldabile se contiene più dello 0,2% di rame.

Un'eccezione è rappresentata dalla serie 2X19 (per es. 2219, 2519) e 2024.

Le leghe Alumecc 79, Alumecc 89 e Alumecc 99, anche se contengono più dello 0,2 % di rame, possono essere riparate o modificate di saldatura con buoni risultati, se ci si assicura di eseguire la saldatura in maniera corretta.

La qualità di una riparazione di saldatura è influenzata dalla preparazione del pezzo, dal processo di saldatura stesso, dalle condizioni e dalla scelta della lega di riporto.

British Aluminium Plate ha simulato riparazioni di saldatura sulle leghe Alumecc ed ha redatto delle linee guida, per condurre il processo in maniera corretta.

Il principio generale è di saldare il più velocemente ed il più a freddo possibile, per minimizzare l'apporto di calore.

Si raccomanda l'impiego di una lega 5XXX quale materiale di riporto, per ottenere il massimo della resistenza della saldatura e favorire l'invecchiamento naturale ed il ripristino delle condizioni di resistenza della zona influenzata termicamente.

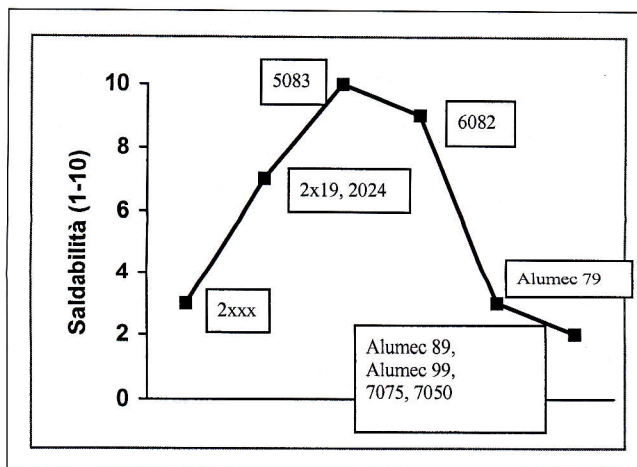


Fig. 7 - Variazioni della saldabilità per giunzione per diverse serie di leghe di alluminio.

Fig. 7 - Variations in weldability for the different aluminium alloys.

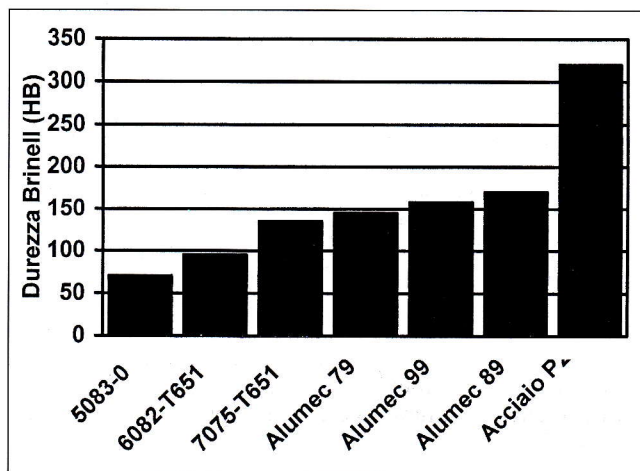


Fig. 8 - Confronto dei valori di durezza Brinell fra l'acciaio da utensili P20 e le principali leghe di alluminio per stampi (spessore 150 mm).

Fig. 8 - Comparison of Brinell hardness values between P20 tool steel and the main aluminium alloys for moulds (150 mm thickness).

Si deve tenere presente che le zone saldate reagiscono alla fotoincisione in maniera differente rispetto al resto della matrice metallica.

L'industria degli acciai da utensili ha sviluppato materiali di riporto per alcuni acciai che minimizzano questo effetto. Sfortunatamente questo lavoro non è ancora stato compiuto con le leghe di alluminio per stampi e non sembra neppure fattibile. Comunque alcuni saldatori qualificati hanno ottenuto discreti successi riparando di saldatura la lega Alumecc 89, usando elettrodi avvolti da sottili strisce di materiale analogo all'Alumecc 89 stesso. Attualmente stiamo lavorando per approfondire questo discorso.

#### CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le caratteristiche meccaniche basilari per un materiale da stampi, misurate a temperatura ambiente, hanno un influsso vitale sui rendimenti. Possono ad esempio influenzare:

- Numero di pezzi che lo stampo produrrà
- Resistenza a danneggiamenti delle zone di chiusura e degli estrattori

- Resistenza all'innesco di cricature in prossimità degli spigoli.
- Mantenimento della finitura superficiale lucidata o fotoincisa

Prima di ripassare le caratteristiche meccaniche delle leghe di alluminio è utile osservarle da un diverso punto di vista, confrontando la loro durezza Brinell con quella dell'acciaio da utensili P20 (vedi fig. 8).

In ogni caso, una valutazione delle caratteristiche meccaniche non è così semplice come potrebbe sembrare e richiede una conoscenza che vada al di là dei meri valori di durezza delle singole leghe.

Per prima cosa, bisogna tener presente che gli stampi vengono generalmente costruiti da spessori che variano fra 20 e 800 mm. E' possibile che, per variazioni dello spessore così rilevanti, si verifichino anche significativi cambiamenti delle proprietà meccaniche di una stessa lega. Questi materiali mostreranno quindi una variazione dei rendimenti a seconda degli spessori considerati.

In maniera analoga, alcune leghe mostrano variazioni delle caratteristiche meccaniche sulla sezione; inevitabilmente questo comporta una variazione di altre caratteristiche, quali la resistenza all'usura.

Inoltre, quando le condizioni di esercizio di uno stampo impongono temperature di stampaggio maggiori di 100°C, diventa importante considerare le proprietà meccaniche ad elevate temperature, piuttosto che a temperatura ambiente.

Altro fattore determinante è la resistenza alla fatica di un materiale, piuttosto che le semplici proprietà tensili, visto che i cicli produttivi richiesti ad uno stampo si allungano sempre più.

Le proprietà meccaniche a temperatura ambiente sono la prima caratteristica basilare per confrontare fra loro le leghe di alluminio.

Prove meccaniche forniscono informazioni sulla forza necessaria per provocare una rottura, sull'allungamento raggiunto prima della rottura e sul carico necessario per imprimere al materiale una deformazione plastica dello 0,2% sulla lunghezza originaria (carico di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2%, di seguito abbreviato con limite elastico allo 0,2%).

Al fine di poter confrontare i materiali da stampi, ciò può essere considerato una valutazione del carico richiesto per produrre una deformazione permanente, in maniera simile al carico di rottura per gli acciai da utensili.

Le prove meccaniche possono essere condotte in un qualsiasi delle tre direzioni rispetto alla direzione di laminazione o all'orientamento del grano.

La direzione longitudinale (L) è parallela alla direzione di laminazione, la direzione trasversale lunga (LT) è perpendicolare rispetto alla direzione di laminazione e la direzione trasversale corta (ST) attraversa lo spessore della piastra ed è ad angolo retto rispetto ad entrambe le direzioni L e LT.

Di solito le proprietà meccaniche variano a seconda delle tre direzioni come segue:  $L > LT > ST$ .

E' convenzionale, a meno che non sia diversamente specificato, misurare e confrontare le proprietà LT.

Inoltre, sempre per convenzione, a meno che non diversamente specificato, i provini per le prove meccaniche vengono prelevati a  $\perp$  dello spessore, a seconda dello spessore della piastra. Di solito il prelievo a  $\perp$  di spessore si applica a spessori > 50 mm.

Il limite elastico allo 0,2% a  $\perp$  dello spessore è un'utile unità di misura per la resistenza ai danneggiamenti delle zone di chiusura e degli estrattori e fornisce inoltre una linea guida per la capacità del materiale di mantenere una finitura superficiale lucida o fotoincisa, particolarmente in caso di produzioni alte.

Molte leghe, in particolare quelle trattate termicamente, mostrano una riduzione del limite elastico allo 0,2% con l'au-

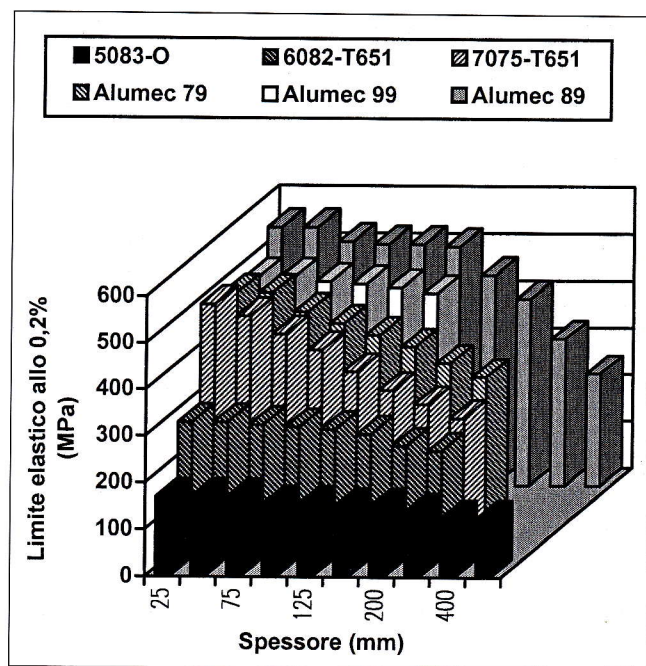


Fig. 9 - Variazioni del limite elastico allo 0,2% in base allo spessore, per diverse leghe di alluminio.

Fig. 9 - Variation in the 0.2% elastic limit on the bases of thickness, for the different aluminium alloys.

mentare degli spessori. Questa manifestazione può essere molto pronunciata nel caso della 7075-T651, come mostra la fig. 9, a causa della criticità allo spegnimento di questa lega.

Questo è ben noto all'industria aeronautica, dove la 7075-T651 non viene prescritta per spessori > 100 mm, a causa della bassa resistenza meccanica, se paragonata ad altre leghe.

La lega 7075 è stata sviluppata negli anni '40 per usi aeronautici. La sua criticità allo spegnimento è dovuta all'impiego del cromo quale ulteriore elemento di lega.

La rapida diminuzione delle proprietà meccaniche per le sezioni spesse riduce la lavorabilità e la lucidabilità, in particolare nelle zone di cuore e a  $\perp$  della diagonale. Inoltre, per impieghi sollecitati a usura, aumenta il rischio di rotture delle zone di chiusura e degli estrattori.

British Aluminium Plate ha cercato di ridurre questi problemi verso la fine degli anni '70, sviluppando la lega Alumecc 79.

Si tratta di un prodotto meno critico allo spegnimento della 7075, grazie ad alcune modifiche nella composizione chimica.

Per spessori inferiori a 75 mm, i suoi livelli di resistenza sono paragonabili a quelli della 7075-T651, ma per spessori > 75 mm, la resistenza non diminuisce così rapidamente come per la 7075-T651.

In seguito al successo ottenuto con Alumecc 79, British Aluminium Plate ha sviluppato la lega Alumecc 89 fino ad uno spessore massimo di 305 mm.

Questo prodotto, non contenendo cromo, è meno critico allo spegnimento dell'Alumecc 79. Le sue proprietà meccaniche sono maggiori, sia rispetto alla 7075-T651 sia all'Alumecc 79, per tutta la gamma di spessori, come mostra la fig. 9.

Questi miglioramenti nelle proprietà meccaniche hanno consentito ai progettisti di stampi di utilizzare l'Alumecc 89 per stampi maggiormente sollecitati, dove le pressioni di iniezione sono più elevate, le produzioni maggiori e le tolleranze dimensionali sul pezzo stampato più ristrette.

Ciò è particolarmente vero per stampi costruiti con grossi spessori, per i quali è così possibile ottenere gli stessi rendi-

menti di stampi più piccoli, costruiti partendo da spessori di piastra inferiori.

La durezza lungo la sezione dello spessore è un'altra caratteristica importante, soprattutto per stampi di grosse dimensioni, con figure profonde.

Nelle leghe trattate termicamente, questa caratteristica è influenzata soprattutto dalla criticità allo spegnimento. La fig. 10 mostra le differenze fra la 7075-T651 e le leghe Alumecc. Le zone a minor durezza per la lega 7075-T651, nell'area compresa fra i 2/4 di diagonale, possono causare difficoltà di lavorazione e di lucidatura.

In esercizio, queste zone meno dure avranno una differente resistenza all'usura ed alla deformazione. Ciò ha importanza relativa negli stampi per soffiaggio, perché la zona di chiusura è appena al di sotto della superficie della piastra; nel caso di stampi a iniezione però si potrebbero avere problemi con le zone di chiusura diagonali e gli estrattori, posti al di sotto del livello della superficie originaria della piastra.

Simili problemi sono ridotti nell'Alumecc 79, grazie alla migliorata durezza a cuore - una delle ragioni del suo sviluppo negli anni '70.

L'Alumecc 89 è addirittura un passo oltre, poiché non presenta inhomogeneità sullo spessore, per sezioni fino a 200 mm. Questa è la principale caratteristica dell'Alumecc 89, ed ha reso possibile sfruttare i vantaggi in termini di velocità di preparazione degli stampi in alluminio anche in campi di impiego ad elevate esigenze tecniche e per cicli produttivi molto lunghi.

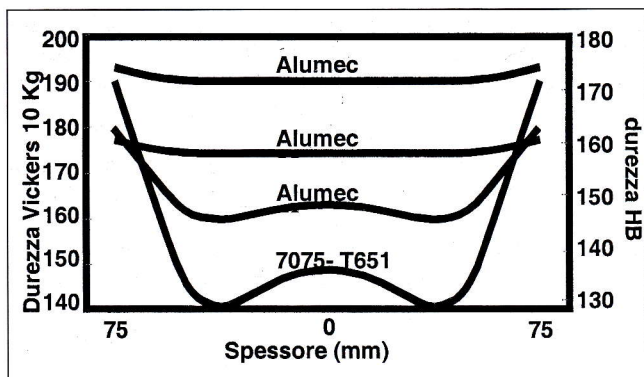


Fig. 10 - Andamento della durezza lungo la sezione per piastre spessore 150 mm.

Fig. 10 - Trend of hardness along the section for 150 mm thick sheets.

#### RENDIMENTI AD ELEVATE TEMPERATURE

Tradizionalmente, leghe di alluminio alto resistenziali per stampi sono sempre state usate per processi di stampaggio plastica piuttosto semplici, dove le temperature di stampaggio difficilmente superano i 100°C. Con l'avanzare della tecnologia delle resine, sono sempre di più i produttori di stampi plastica che cercano di sfruttare i vantaggi dell'alluminio, ma a temperature di esercizio più elevate, di solito intorno a 180°C. In questo caso, l'indicatore più appropriato delle potenzialità del materiale sono le proprietà meccaniche alle elevate temperature.

La fig. 11 mostra come il limite elastico allo 0.2% della 7075-T651 si riduce rapidamente nell'ambito di temperature fra 100 e 180°C.

La lega 2219-T851, sebbene a temperatura ambiente evidenzia una resistenza inferiore rispetto alla 7075-T651, ottiene valori più elevati per temperature superiori a 125°C.

British Aluminium Plate sta attualmente sviluppando un nuovo prodotto, chiamato R979, per impieghi ad elevate temperature.

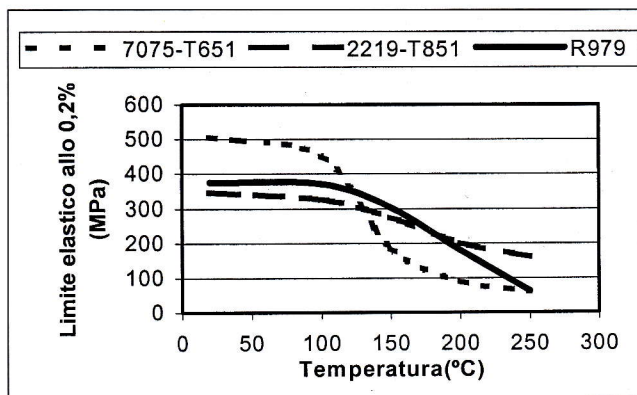


Fig. 11 - Limite elastico allo 0,2% dopo 10.000 ore ad elevate temperature.

Fig. 11 - Elastic limit of 0.2% after 10,000 hours at high temperatures.

Dalle prove finora eseguite, questa lega risulta avere resistenza maggiore della 2219-T851 a temperature inferiori a 180°C.

Sono in corso ulteriori prove per ottenere un quadro completo delle caratteristiche di questo materiale, inclusa la sua lucidabilità, saldabilità e fotoincidibilità.

#### RESISTENZA ALLA FATICA

Fatica è la rottura di un materiale per un meccanismo puramente fisico, come risultato di una sollecitazione ciclica ripetuta.

Con l'aumentare della sollecitazione, diminuisce il tempo che intercorre prima della rottura.

Ciò è evidenziato da una curva di resistenza a fatica (curva di fatica), che rappresenta il carico di rottura in relazione al logaritmo del numero di cicli sopportati (vedi fig. 12 schem.).

Le leghe di alluminio non evidenziano i limiti di resistenza a fatica netti tipici degli acciai a basso carbonio. Si tratta di un'importante differenza nel comportamento alla fatica di questi due tipi di materiale.

Ciò implica che uno stampo in alluminio, si romperà per fatica nel corso di un lungo ciclo produttivo, senza mai pro-

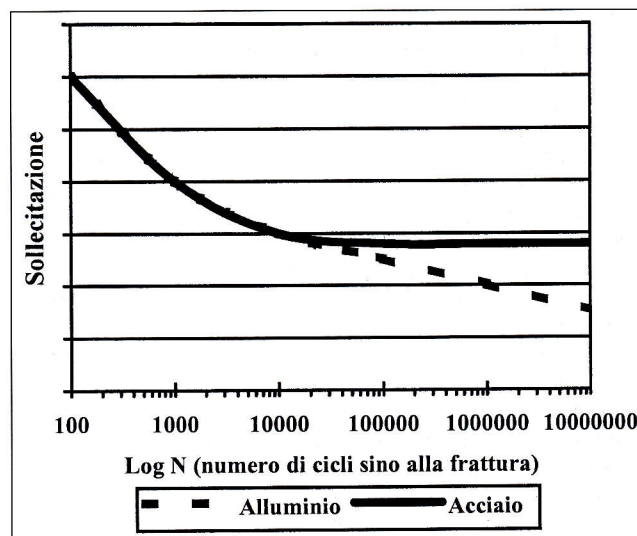


Fig. 12 - Curva di fatica schematica per acciaio a basso carbonio e leghe di alluminio.

Fig. 12 - Fatigue curve for low carbon steel and aluminium alloys.

MEMORIE

3/2000

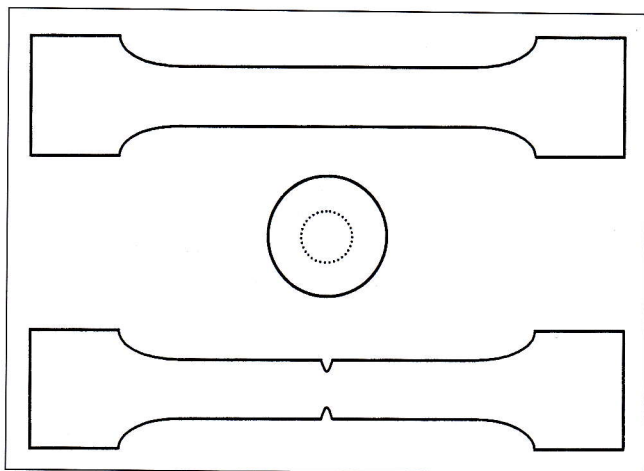


Fig. 13 - Provette per prova di resistenza alla fatica, con e senza intaglio.

Fig. 13 - Fatigue resilience testing specimens, with and without notch.

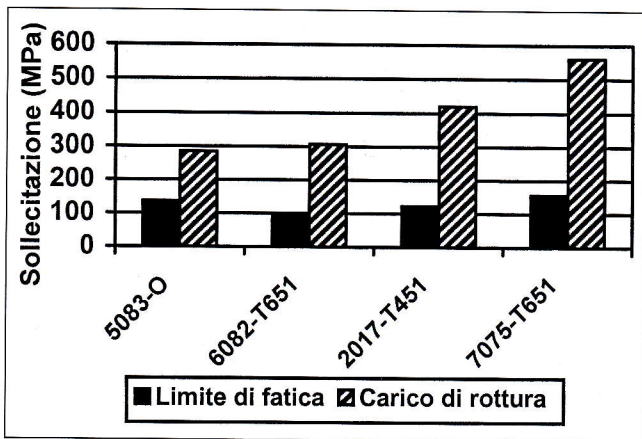


Fig. 14 - Carico di rottura e limite di fatica per diverse leghe.

Fig. 14 - Tensile strength and fatigue limit for the different alloys.

dure prima altri difetti premonitori (quali ad es. usura delle zone di chiusura e degli estrattori).

Considerazioni costruttive dovrebbero assicurare che il numero di cicli necessario per arrivare ad una rottura da fatica sia maggiore del numero di cicli richiesto allo stampo durante la sua vita produttiva.

Questo problema non si pone per l'acciaio, se le condizioni di esercizio rimangono al di sotto del suo limite di fatica.

Una conoscenza delle differenze di rendimento fra le varie leghe di alluminio per stampi si può ottenere conducendo alcuni test di resistenza alla fatica.

Confrontando il carico necessario per la rottura dopo un elevato numero di cicli, solitamente  $50 \times 10^7$ , è possibile confrontare il Limite di Resistenza alla Fatica di ogni lega / stato di trattamento termico.

È comunemente noto, che i processi di alligazione, produzione e trattamento termico che aumentano il carico di rottura delle leghe di alluminio tendono anche ad aumentare la resistenza alla fatica. I valori di resistenza alla fatica di alcune leghe impiegate nello stampaggio plastica sono indicati nella fig. 14.

Comunque, gli stampi per termoplastici, come molti prodotti industriali, contengono elementi che aumentano l'impatto delle sollecitazioni, quali gli spigoli vivi.

Solitamente, se si verifica una rottura da fatica, è il risultato di cricche che iniziano in questi punti in cui la sollecitazione risulta maggiore.

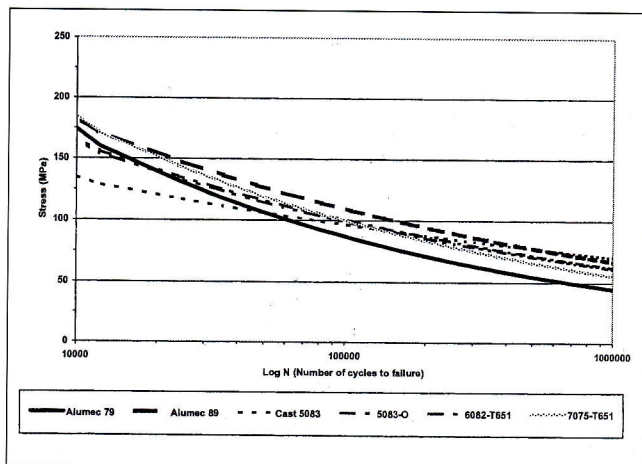


Fig. 15 - Curva di fatica per diversi materiali da stampi, provino intagliato,  $K_t = 2.5$ .

Fig. 15 - Fatigue curve for different mould materials, notched specimens,  $K_t = 2.5$ .

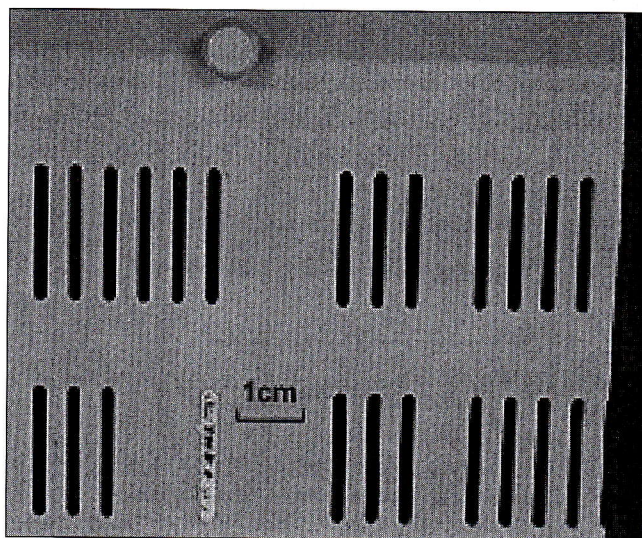


Fig. 16 - Rotture da fatica di estrattori in Alumecc 89, dopo 190 stampate; si evidenzia la parte fratturata, trattenuta nel pezzo stampato.

Fig. 16 - Fatigue failure in Alumecc 89 extractors after 190 moulds; the fractured part is retained in the piece.

Per questo motivo, risultati più utili si possono ottenere conducendo le prove di fatica su provini intagliati.

(La severità dell'intaglio, che può essere descritto come un fattore che aumenta l'intensità del carico, avrà una chiara influenza sul risultato del test, quindi, quando si effettuano confronti con altri valori, è importante mettere a confronto parametri uguali).

La fig. 15 riproduce alcune curve di fatica per diverse leghe, spessore 150 mm (eccetto la 5083 - 500 mm).

Il fattore di intensità del carico di 2,5 rappresenta un intaglio severo, simile ad uno spigolo vivo nella zona di figura di uno stampo.

La similarità nei rendimenti di materiali dalle diverse proprietà meccaniche mostra quanto possano essere importanti simili fattori di intensificazione della sollecitazione nelle zone di figura di uno stampo.

Da questi dati si può quasi desumere che la presenza di simili fattori abbia più influenza sui rendimenti di uno stampo della scelta del materiale stesso.

Negli stampi plastica a iniezione, i fattori che intensificano

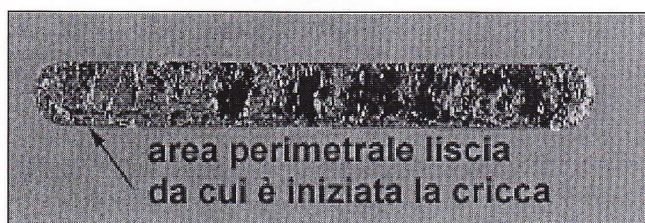


Fig. 17 - Zone di frattura liscia e ruvida, caratteristiche di una rottura da fatica.

Fig. 17 - Smooth and rough failure zones characteristics of a fatigue failure.

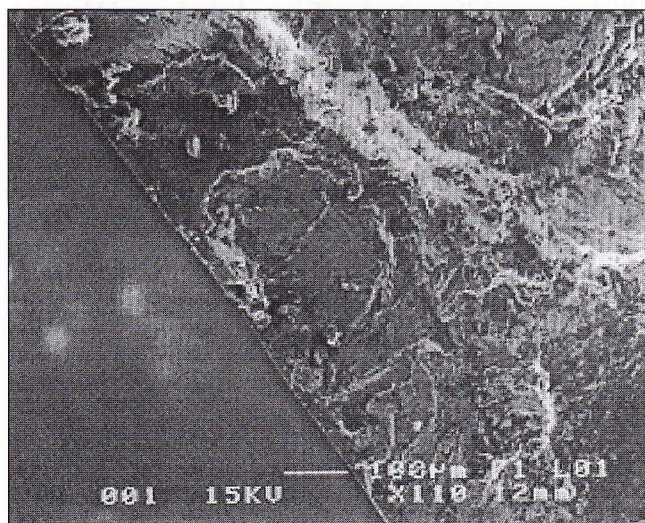


Fig. 18 - Le zone concentriche indicano il punto di innesco di una cricca da fatica.

Fig. 18 - Concentric zones indicate the initiation zone of a fatigue crack.

la sollecitazione possono insorgere da innumerevoli cause. Analisi eseguite su stampi rotti hanno permesso a British Aluminium Plate di sviluppare la conoscenza degli influssi che la geometria dello stampo e le tecniche di costruzione possono esercitare sulla resistenza a fatica.

Sezioni sottili non supportate, in particolare estrattori, possono essere suscettibili di rotture da fatica, poiché possono deflettere durante lo stampaggio. Questi particolari spesso hanno un piccolo raggio alla base, che agisce come intensificatore della sollecitazione.

La fig. 16 mostra una di queste rotture da fatica. Questa rottura si è manifestata dopo 190 pezzi, stampando ABS.

La fig. 17 evidenzia la parte fratturata e mostra, sul perimetro della superficie di frattura una sottile zona di frattura liscia.

Il resto della frattura è caratterizzato da una superficie ruvida, corrispondente ad una frattura transcristallina.

La superficie di aspetto liscio corrisponde alla zona in cui la cricca di fatica si è sviluppata lentamente, seguendo l'innesco iniziale.

Se osservata al microscopio elettronico, questa superficie contiene diversi segni concentrici, come evidenziato in fig. 18. Questi corrispondono alla zona di innesco della cricca.

Un'altra fonte di fattori che innalzano la sollecitazione può essere una superficie erosa a filo. Tali superfici sono talvolta usate per ottenere particolari finiture superficiali. L'erosione a filo fonde il metallo per poterlo asportare e, inevitabilmente, lascia un sottile strato risolidificato.

Questo strato contiene numerose micro-cricche, come evidenziato in fig. 16. E' stato dimostrato come tali cricche agiscano da punti di innesco di cricche da fatica.

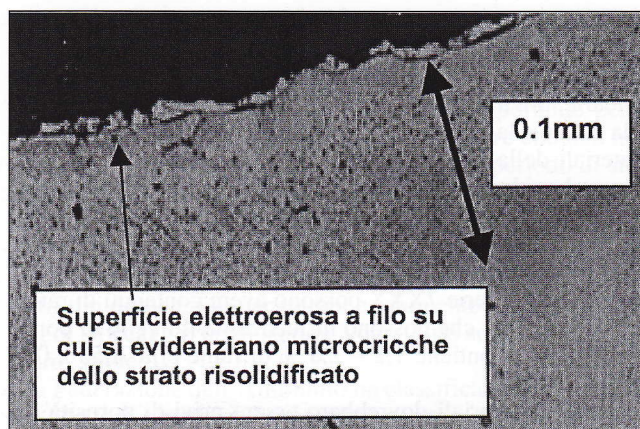


Fig. 19 - Sezione micrografica di superficie erosa a filo in Alumecc 89.

Fig. 19 - Micrographic section of a wire eroded section of Alumecc 89.

Inoltre, a causa dell'apporto di calore relativamente alto dovuto al processo di elettroerosione, il pezzo presenterà uno strato influenzato termicamente.

Nelle leghe sottoposte a trattamento termico, questo strato presenterà iperinvecchiamento, rispetto al materiale della matrice. Uno strato simile sarà caratterizzato da presenza massiccia di precipitati, come evidenziato dalla regione scura al di sotto della superficie in fig. 19.

Questa area avrà minore resistenza meccanica (e durezza) del resto dell'utensile e potrà quindi avere minore resistenza alla fatica.

L'effetto combinato delle microcricche superficiali e di uno strato sottostante iperinvecchiato può contribuire ad una prematura andata fuori uso degli utensili per rotture da fatica.

Tali superfici dovrebbero essere rimosse, per proteggere lo stampo da simili meccanismi di rottura. In maniera similare, anche superfici finite di elettroerosione (EDM), spesso utilizzata per ottenere particolari finiture superficiali, hanno evidenziato micro-cricche simili, ma in maniera più limitata. Dall'esperienza di British Aluminium Plate non risultano essersi mai verificate rotture da fatica di stampi plastica iniziate da micro-cricche della superficie elettroerosa. Comunque, molti stampisti preferiscono tutelarsi da questo rischio asportando meccanicamente lo strato superficiale elettroeroso, prima della finitura dello stampo.

#### MICROSTRUTTURA

La microstruttura di un materiale è il risultato della sua composizione chimica e dei successivi processi cui il materiale è sottoposto. Molte proprietà importanti per l'utilizzatore finale sono un riflesso della microstruttura, incluse le proprietà meccaniche precedentemente descritte.

Nella costruzione degli stampi, la lucidabilità può avere un'importanza critica.

Per ottenere un'elevata qualità della finitura superficiale, la microstruttura del materiale dovrebbe essere priva di difetti dannosi.

Le caratteristiche microstrutturali che possono limitare la qualità della finitura includono porosità, agglomerati di fasi secondarie di grosse dimensioni e inclusioni non metalliche. Le porosità, se abbastanza grandi, possono essere chiaramente visibili dopo lucidatura con diamante da 12 µ o addirittura con carta a grano abrasivo fine.

Queste porosità si ripresenterebbero sul pezzo stampato e la loro accettabilità dipende dai requisiti qualitativi dei pezzi da produrre. Non è verosimile pensare che simili difettosità

si ripercuotano anche su pezzi soffiati.

La lega 5083, spesso usata per stampi di grosse dimensioni allo stato colato, presenta porosità e vaste isole di fasi secondarie, dovute al lento processo di raffreddamento durante la colata e la solidificazione di grossi blocchi.

Materiali della serie 2XXX soffrono meno di questo fenomeno ed evidenziano buoni risultati in esecuzione colata.

Ciò può essere attribuito al loro maggiore contenuto di rame, che aiuta la fluidità del metallo durante la solidificazione, riducendo al contempo le porosità da ritiro dendritico.

Le leghe della serie 7XXX possono avere contenuti di rame molto differenti, che possono influenzarne il livello di porosità. La 7075 contiene 1,2 - 2,0 % di rame e la 7050 2,0 - 2,6%.

Entrambi i materiali dovrebbero essere privi di porosità da ritiro nell'esecuzione laminata. La lega 7022 contiene 0,5 - 1,0 % di rame e, per piastre laminate di spessore maggiore di 150 mm, può evidenziare microporosità fini.

Altri prodotti, basati sulle leghe della serie 7XXX allo zinco-magnesio, contengono meno di 0,2% di rame per ottenere un'eccellente saldabilità. Queste leghe possono contenere microporosità anche in esecuzione laminata, in particolare per grossi spessori.

La lega Alumecc 79 si basa sulla lega 7022 e, dal momento della sua introduzione sul mercato, nella seconda metà degli anni '70, ha ottenuto ottimi risultati. Comunque, poiché il mercato si muove sempre più verso l'alluminio per la costruzione di stampi, British Aluminium Plate raccomanda, per elevate esigenze tecniche, l'impiego della lega Alumecc 89.

Alumecc 89 contiene livelli di rame simili alla 7075 ed è stato lucidato fino ad ottenere finiture superficiali ottime, per impegni nello stampaggio ad iniezione di fanaleria auto in piccole serie.

Ampliando la gamma dimensionale dell'Alumecc 89 oltre lo spessore 305 mm, British Aluminium Plate ha apportato alcuni aggiustamenti nella composizione chimica, per assicurare le caratteristiche di lucidabilità dagli spessori più piccoli fino alle piastre di 500 mm.

I grossi agglomerati di fasi secondarie sono generalmente molto duri, se paragonati al materiale della matrice e possono presentarsi in rilievo sulla superficie lucidata, producendo una micro-ruvidezza maggiore del desiderato.

Questi agglomerati possono altresì venire asportati durante la lucidatura, lasciando delle cavità che potrebbero apparire simili a porosità.

Tali particelle possono venirsi a creare a causa di elevati livelli di impurità nella composizione della lega o per un insufficiente trattamento termico prima della laminazione a caldo.

British Aluminium Plate è uno dei principali fornitori del mercato aeronautico, e produce molte leghe che richiedono severi controlli relativamente alla presenza di fasi secondarie, proprio per venire incontro alle severe esigenze di questa fascia di mercato.

La gamma dei prodotti Alumecc deriva molti aspetti tecnologici dalle esperienze che abbiamo acquisito nel mercato aeronautico.

Le inclusioni non-metalliche sono un risultato della scarsa qualità del metallo allo stato liquido, prima della solidificazione. Anche in questo caso, i requisiti posti dall'industria aeronautica implicano che British Aluminium Plate deve assicurare la qualità del metallo in fase liquida ai massimi livelli; le tecniche impiegate per raggiungere ciò, si applicano anche per la produzione di leghe per stampi.

Ciò garantisce che questi materiali abbiano una microstruttura pulita, in grado di assicurare una buona lucidabilità.

Lavorabilità è un termine che copre molti aspetti del comportamento di un materiale durante la lavorazione meccanica.

- Grado di asportazione del materiale
- Caratteristiche del truciolo
- Distorsione
- Finitura superficiale
- Usura degli utensili

Le quantità di asportazione del materiale raggiungibili con le leghe di alluminio sono maggiori rispetto ai più comuni materiali industriali, come evidenziato dalla fig. 20.

Si definisce Fattore di Lavorabilità la quantità di asportazione del metallo in pollici al cubo x minuto x potenza dell'utensile da taglio.

Le leghe di alluminio oscillano fra 2,5 e 4,0. Le leghe relativamente dolci della serie 1XXX sono scarsamente lavorabili e non sono potenziali materiali da stampi.

All'altro capo della scala si collocano le leghe cosiddette ad alta lavorabilità, come la 2011. Queste leghe possiedono però altre caratteristiche che solitamente non le rendono impiegate per lo stampaggio.

Le altre leghe si collocano all'interno della fascia di oscillazione citata; la maggior parte dei materiali in alluminio impiegati per lo stampaggio si collocano ai limiti alti di questa forcella, come per es. Alumecc 79 e Alumecc 89.

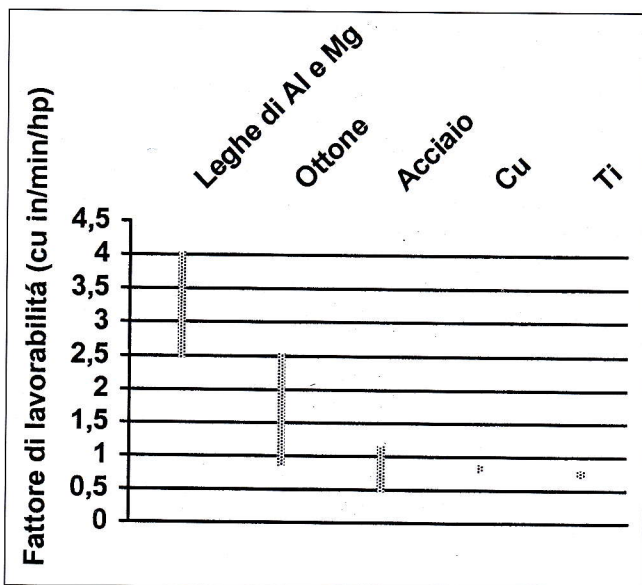


Fig. 20 - Fattore di Lavorabilità per diversi materiali.

Fig. 20 - Machinability factor for different materials.

Le caratteristiche del truciolo variano a seconda della lega. Materiali ad elevata resistenza, come l'Alumecc 89, generano piccoli trucioli singoli, solitamente corti, non voluminosi e facili da maneggiare.

Per le piastre laminate, la lunghezza dei trucioli solitamente aumenta quanto più diminuisce la resistenza del materiale.

I prodotti colati, come i grossi blocchi in 5083, si lasciano lavorare meglio di quanto ci si aspetterebbe dalla loro resistenza, soprattutto grazie alla loro microstruttura più fragile. Indicativamente, la lunghezza del truciolo per le piastre laminate (e per barre estruse) segue la tendenza:

blocchi colati 5083 > 6082 > 2XXX > 7075 > Alumecc 79 > Alumecc 99 > Alumecc 89 (< 305 mm).

Con l'aumentare degli spessori, le caratteristiche meccaniche si riducono. Questo fenomeno è particolarmente evidente nella 7075-T651, come mostra la fig. 9, e si accompagna ad un peggioramento della lavorabilità.

Ciò è più pronunciato nelle zone ad  $\frac{1}{2}$  dello spessore e nelle zone di cuore delle piastre di 7075-T651 > 100 mm di spessore; con prodotti a bassa resistenza è possibile avere problemi di tagliente di riporto.

Il fenomeno della distorsione dopo lavorazione è dovuto

dalla ridistribuzione delle tensioni interne presenti in alcuni materiali.

Le leghe trattate termicamente presentano livelli più elevati di tensioni interne rispetto alle leghe non trattate, perché del loro processo produttivo fa parte un drastico spegnimento in acqua.

Nelle piastre laminate, designate come TX51 o TX52 (per es. T651 o T652), i tensionamenti vengono parzialmente abbattuti dopo lo spegnimento mediante stiramento controllato o compressione a freddo.

Ciò permette di ridurre le tensioni interne ad un livello accettabile, sebbene queste non si eliminino completamente.

Piastre laminate in leghe non trattate termicamente, allo stato ricotto, come la 5083-O, possono essere prive di tensionamenti, a seconda del metodo con cui sono state prodotte.

Anche i materiali colati, solitamente usati per grossi spessori, nei quali non sono disponibili piastre laminate, sono generalmente privi di tensionamenti interni.

La quantità di distorsione visibile dopo lavorazione sembra dipendere, oltre che dai tensionamenti interni, anche dalla resistenza del materiale.

Questo fenomeno è ampiamente noto all'industria aeronautica, dove vengono impiegati processi di lavorazione leggermente diversi proprio per tenere conto del diverso comportamento delle leghe della serie 2XXX e 7XXX.

Le distorsioni dopo lavorazione seguono la tendenza: blocchi colati < 5083 < 6082 < 2XXX < 7075 = Alumecc 79 = Alumecc 99 < Alumecc 89.

Nelle applicazioni aeronautiche, particolari di grosse dimensioni, come componenti dell'ala, possono essere lavorati asportando materiale in quantità uguali da ambo le parti della piastra, mantenendo così condizioni di quasi-equilibrio nella distribuzione dei tensionamenti interni.

Nella produzione di stampi, la necessità di avere anche una semplice cavità costringe ad asportare metallo in maniera predominante da un unico lato della piastra.

Avere un tasso di distorsione minimo è una caratteristica molto desiderabile per i costruttori di stampi, ma solitamente può essere ottenuta solo accettando una riduzione di altre proprietà, in genere di proprietà meccaniche.

Un esempio è l'impiego di grossi blocchi colati per stampi di grandi dimensioni.

Blocchi simili soffrono poco di distorsioni, perché sono pressoché privi di tensionamenti interni, ma spesso offrono bassi livelli di resistenza.

Per questa ragione, i costruttori di utensili hanno sviluppato processi con cui sono in grado di lavorare materiali ad elevata resistenza e quindi a maggiore potenziale di distorsione.

Ciò implica lavorazioni di sgrossatura, rimozione delle ganasce per rendere possibili movimenti del materiale, con una ripassata successiva sulle superfici e infine la lavorazione di finitura.

Le tolleranze di finitura solitamente dipendono dalle dimensioni dello stampo, ma in genere sono di 3-6 mm.

La lavorazione superficiale di finitura dipende ampiamente dalla resistenza del materiale, restando gli altri parametri uguali.

Resistenze maggiori garantiscono caratteristiche di taglio più nette e quindi un miglior grado di finitura superficiale.

Poiché la resistenza in alcune leghe può variare a seconda degli spessori e anche lungo la sezione di un dato spessore, è possibile che si notino differenze di finitura superficiale.

L'usura degli utensili è una considerazione secondaria nel momento della scelta del materiale per stampi. Generalmente, più è elevata la resistenza di un materiale, maggiore sarà l'usura visibile sugli utensili da taglio in HSS.

La resistenza alla corrosione può essere importante per tre motivi principali:

- Stoccaggio dello stampo

- Compatibilità con il materiale termoplastico durante lo stampaggio

- Corrosione dei canali di raffreddamento

La resistenza agli attacchi atmosferici è importante per lo stoccaggio di uno stampo. Rilucidare le figure che non hanno mantenuto il loro grado di finitura per il periodo di stoccaggio può essere molto costoso oltre che dispendioso in termini di tempo.

Fortunatamente le leghe di alluminio mostrano una buona resistenza alla corrosione in generale, se paragonate a molti altri tipi di materiali per stampi e raramente si hanno problemi di stoccaggio degli stampi, soprattutto se si utilizzano gli spray protettivi.

La Federazione dell'Alluminio ha classificato le leghe in base alla loro resistenza alla corrosione atmosferica[5]. La suscettibilità all'attacco corrosivo e la profondità della puntinatura sono maggiori nella serie 2XXX, seguita dalle serie 7XXX, 6XXX e 5XXX.

La compatibilità con il materiale termoplastico durante lo stampaggio è importante affinché la zona di figura mantenga il suo grado di finitura durante lo stampaggio e, possibilmente, per tutto il periodo in cui lo stampo rimane in esercizio.

La maggior parte dei termoplastici che vengono stampati utilizzando utensili in alluminio non presentano particolari problemi.

Recentemente sono stati introdotti materiali termoplastici ignifughi. Questi contengono additivi che generano gas leggermente aggressivi che si sprigionano durante la polimerizzazione.

Comunque l'Alumecc 79 e l'Alumecc 89 sono stati impiegati con successo nello stampaggio di materiali simili.

Un esempio di stampato prodotto in G151 Cylolac da GE Plastics è evidenziato nella fig. 21.

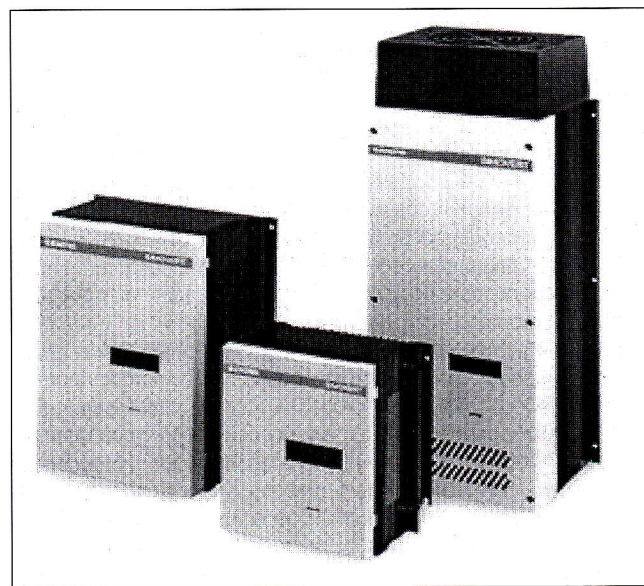


Fig. 21 - Particolari in G151 Cylolac di GE Plastics.

Fig. 21 - Products made of G151 Cylolac by GE Plastics.

I particolari stampati sono usati per costruire la scatola di un'unità di controllo elettrico e lo stampo in questione ha prodotto 30.000 pezzi in 3 anni, con interventi di manutenzione della figura minimi.

Il PVC può creare problemi alla maggior parte dei materiali per stampi e l'alluminio non fa eccezione.

Se esposto all'aria, il PVC degenera e cede cloro. In condizioni di umidità, il cloro si combina con l'acqua dell'atmosfera e forma acido idrocloridico (HCl) che, a sua volta, attacca l'alluminio.

La corrosione durante lo stampaggio di PVC è più comune per i processi di soffiaggio, per la grande diffusione delle bottiglie di plastica e per i tempi di esposizione lunghi associati ai cicli produttivi del soffiaggio. Il problema è particolarmente accentuato in condizioni climatiche di umidità.

Per questo motivo, prima di scegliere il materiale da utilizzare per stampi da soffiaggio per PVC, andrebbero considerate alcune condizioni fondamentali: il tipo di PVC, le condizioni ambientali e la durata della produzione, in modo da poter verificare se le leghe di alluminio offrono una valida alternativa ad altri materiali resistenti alla corrosione.

La corrosione dei canali di raffreddamento può verificarsi quando gli stampi vengono impiegati per produzioni molto lunghe, come nel caso del soffiaggio, se il refrigerante non è completamente compatibile con l'alluminio.

Ne risulta, che le superfici dei canali di raffreddamento si ricoprono di uno strato composto dai prodotti della corrosione, come evidenziato dalle figg. 22 e 23. Questo può crescere al punto che il flusso dell'acqua refrigerante ne risulti ridotto anche in maniera significativa, quindi le tempistiche del ciclo produttivo possono aumentare, a causa della ridotta efficienza termica dello stampo. Gli stampi in alluminio fanno generalmente parte di un circuito di raffreddamento che interessa anche altri metalli. L'acqua è solitamente trattata con inibitori di corrosione per evitare che i metalli interessati dal circuito si corrodano. Inoltre l'acqua è trattata con agenti antibatterici, per controllare l'insorgere di micro-organismi nocivi nel circuito di raffreddamento.

Questi processi di trattamento dell'acqua possono causare numerosi problemi.

- Corrosione da contatto: Se gli inibitori non riescono a evitare la corrosione degli altri materiali metallici presenti nel circuito, quali acciaio e leghe di rame, le superfici dei canali di raffreddamento soffriranno di corrosione da contatto. Si tratta di una forma di attacco galvanico in cui gli ioni di altri metalli "scalfiscono" elettrochimicamente l'alluminio, provocandone la corrosione.

- PH errato: Utilizzare un refrigerante a PH alcalino può aiutare a prevenire fenomeni corrosivi nell'acciaio. Tuttavia, livelli di PH maggiori di 8,0 dissolverebbero la sottile patina di ossido di alluminio che protegge le leghe di alluminio dalla corrosione. Anche lavorare con livelli di PH inferiori a 6,0 provoca effetti simili.

L'ideale sarebbe poter operare con un PH neutro di 7,0, per evitare di dissolvere il film di ossido; comunque una forcina compresa fra 6,0 e 8,0 è generalmente da considerarsi accettabile.

- Agenti antibatterici clorati: sono gli agenti più economici e più usati per controllare il diffondersi di batteri nocivi nel circuito di raffreddamento. E' stato dimostrato che, nelle concentrazioni comunemente impiegate, questi agenti hanno provocato attacchi corrosivi sulle leghe di alluminio.

Sono disponibili antibatterici non clorati, ma sono molto più costosi. Tuttavia sarebbe opportuno considerare il loro costo paragonandolo alle spese di ripristino di uno stampo corroso.

- Compatibilità chimica: non è facile prevenire la corrosione in un complesso sistema di metalli misti. Agenti chimici che potrebbero venire impiegati vantaggiosamente quali inibitori di corrosione per un metallo, possono rivelarsi aggressivi per un altro metallo. Inoltre la natura passiva o aggressiva di un determinato agente può cambiare in relazione alla sua concentrazione e alla temperatura.

Per questi motivi British Aluminium Plate raccomanda di assicurarsi sempre che gli agenti chimici utilizzati per i refrigeranti siano compatibili con tutti i metalli del circuito, nelle normali concentrazioni e temperature di esercizio.

Le leghe di alluminio reagiscono in maniera differente agli ambienti corrosivi. In alcune leghe gli effetti della corrosio-

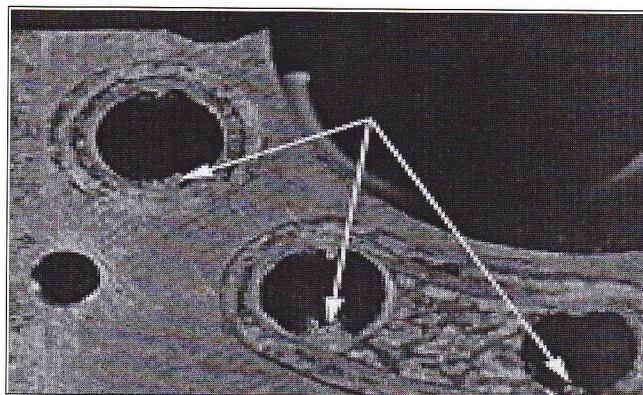


Fig. 22 - Corrosione tipica dei canali di raffreddamento in stampi da soffiaggio.

Fig. 22 - Cooling channel corrosion in blow moulds.

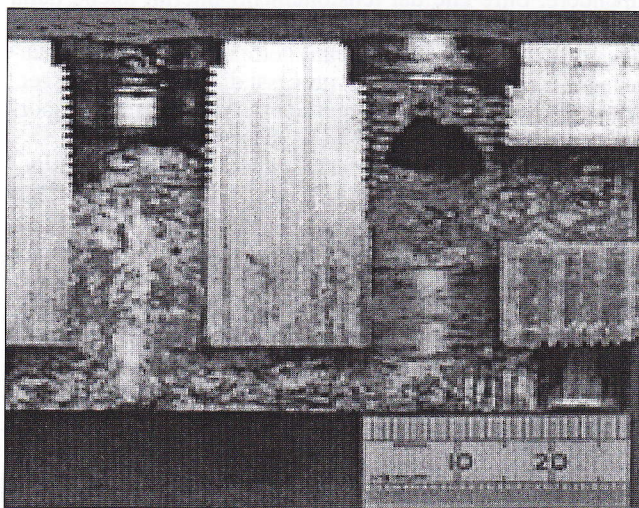


Fig. 23 - Corrosione tipica dei canali di raffreddamento in stampi da soffiaggio.

Fig. 23 - Typical cooling channel corrosion in blow moulds.

ne possono essere di modesta entità per quanto riguarda i rendimenti dello stampo, mentre per altre leghe possono rivelarsi catastrofici.

L'impiego di leghe di alluminio in stampi destinati a produzioni molto lunghe (cioè in stampi più soggetti a corrosione, a causa delle lunghe tempistiche di esercizio) generalmente esclude la possibilità di utilizzare materiali colati.

Nella maggior parte dei casi, sono richieste leghe laminate, che offrono livelli di resistenza medio-alti. Le leghe più usate includono la 5083-O, 6082-T651, 7075-T651 e prodotti con nome commerciale, basati sulla serie 7XXX, inclusi Alumec 79 e Alumec 89.

Le leghe della serie 7XXX, quali 7075-T651, offrono i livelli di resistenza più elevati ma presentano spesso i maggiori problemi di corrosione dei canali di raffreddamento. In presenza di un ambiente corrosivo, quale generalmente quello del circuito di raffreddamento, queste leghe soffrono di corrosione per sfogliatura. Questa forma di corrosione si sviluppa preferenzialmente lungo i bordi dei grani paralleli alla superficie laminata delle piastre (corrosione intergranulare). Il volume del prodotto della corrosione così generato è notevolmente maggiore del volume di metallo "consumato"; ne risulta un distaccarsi degli strati di metallo paralleli alla superficie laminata, come evidenziato dalla fig. 24.

Con l'avanzare di questo meccanismo, il canale di raffreddamento si riduce sempre di più, provocando una diminuzione

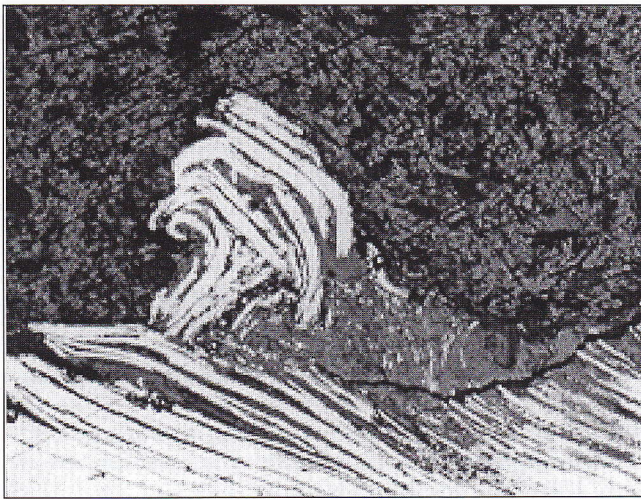


Fig. 24 - Micrografia di corrosione per sfogliatura nella lega 7075-T651.

Fig. 24 - Micrograph of exfoliation corrosion in the 7075-T651 alloy.

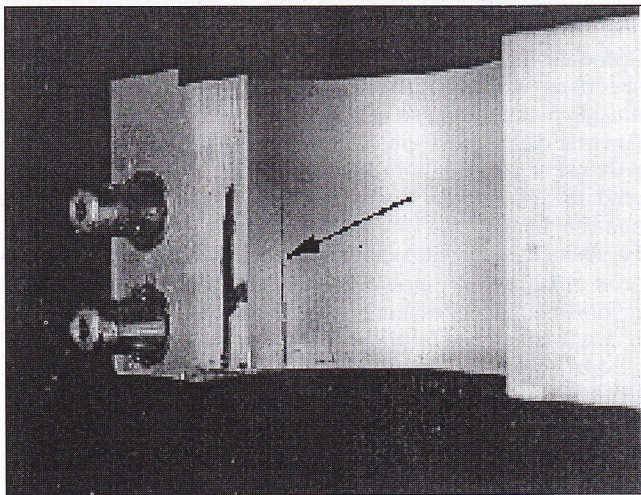


Fig. 25 - Cricca da tensio-corrosione in uno stampo per soffiaggio in 7075-T651.

Fig. 25 - Stress corrosion cracking in a 7075-T651 alloy blow mould.

del flusso dell'acqua. E' dunque richiesta una manutenzione regolare, in particolare intorno alle chiusure degli O-ring. In casi estremi, stampi per soffiaggio hanno manifestato cricche lungo la figura, come evidenziato in fig. 25. Simili rotture prendono il nome di cricche da tensio-corrosione.

Le cricche da tensio-corrosione (CTC) sono l'effetto di un ambiente corrosivo combinato allo stato tensionale del materiale.

Tutte le leghe della serie 7XXX sono, più o meno marcatamente, suscettibili alla tensio-corrosione.

La corrosione è di tipo intergranulare, tuttavia gli attacchi solitamente si sviluppano lungo un numero relativamente limitato di bordi grano, perpendicolarmente alla linea di propagazione delle tensioni e spesso paralleli alla superficie di laminazione, come mostra la fig. 26.

In alcuni materiali particolarmente soggetti a questo fenomeno, quali la 7075-T651, il sionamento necessario per provocare una cricca da tensio-corrosione può essere molto basso. Un simile tensionamento può insorgere dall'impiego di inserti alloggiati con interferenza fissa e dalla diversa dilatazione termica fra la superficie del canale di raffreddamento e la zona di figura più calda.

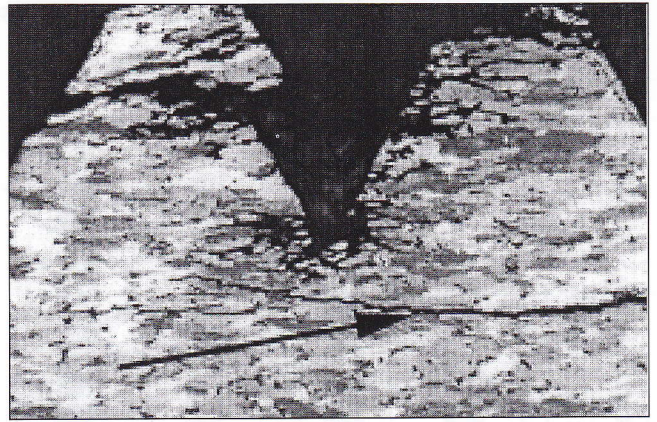


Fig. 26 - La micrografia evidenzia la natura intergranulare della cricca da tensio-corrosione in un canale di raffreddamento.

Fig. 26 - The micrograph points out the intergranular nature of the stress corrosion cracking in a cooling channel.

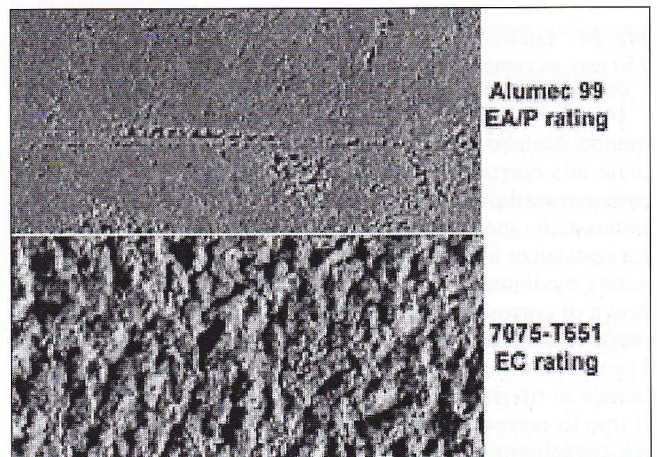


Fig. 27 - Alumecc 99 e 7075-T651 risultati prova corrosione (ASTM G34).

Fig. 27 - Alumecc 99 and 7075-T651 results of corrosion testing (ASTM G34).

Quest'ultimo effetto è più pronunciato quando lo spessore della parete fra il canale di raffreddamento e la figura è molto sottile, generalmente inferiore ai 7 mm.

Per un dato materiale, se si riducono l'aggressività dell'ambiente corrosivo e/o la portata dei tensionamenti interni, diminuisce anche la probabilità di avere cricche da tensio-corrosione.

Esperimenti condotti per conto di British Aluminium Plate indicano che uno spessore di parete maggiore di 8 mm riduce i tensionamenti termici al di sotto dei livelli di guardia per le cricche da tensio-corrosione, anche nelle leghe soggette a questo fenomeno. E' tuttavia possibile che si manifesti una riduzione dell'efficienza del sistema refrigerante.

Le leghe 5083-O e 6082-T651 normalmente non sono soggette a corrosione per sfogliatura o tensio-corrosione. La 5083-O può però diventare sensibile a questi fenomeni se impiegata a temperature maggiori di 65°C.

In presenza di un ambiente corrosivo, entrambe queste leghe risulterebbero soggette a corrosione puntiforme (pitting). La corrosione puntiforme però non influisce negativamente sul sistema di raffreddamento dello stampo.

Tuttavia, come mostrano le fig. 8 e 9, queste leghe hanno caratteristiche meccaniche inferiori rispetto alle leghe 7075-T651, Alumecc 79 e Alumecc 89.

Per questa ragione, British Aluminium Plate ha sviluppato la

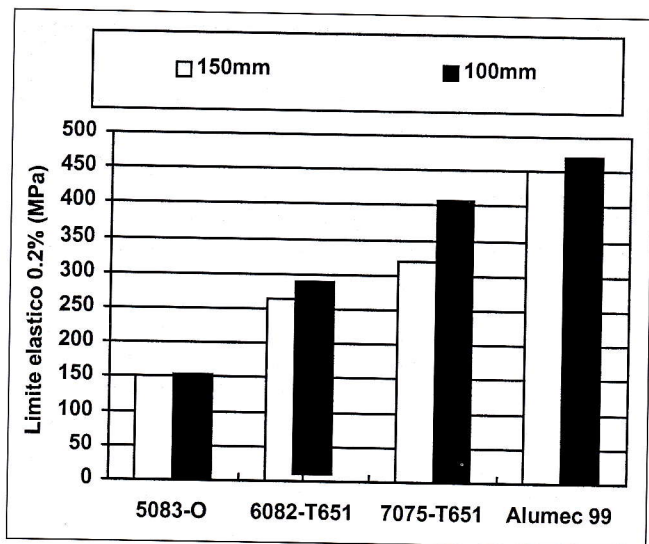


Fig. 28 - Limite elastico all 0,2% dell'Alumecc 99, spessori 100 e 150 mm, paragonata ad altre leghe.

Fig. 28 - Alumecc 99 elastic limit of 0.2%, thicknesses of 100 and 150 mm, as compared with other alloys.

qualità Alumecc 99. E' un materiale che offre l'immunità virtuale alla corrosione per sfogliatura ed un elevato grado di resistenza alla tensio-corrosione, offrendo al contempo caratteristiche meccaniche superiori alla 7075-T651.

La resistenza alla corrosione per sfogliatura può essere misurata mediante prova G34 secondo ASTM. Si tratta di una prova di corrosione accelerata, in cui i provini vengono immersi in soluzione salina per 48 ore.

I provini corrosi vengono poi confrontati visivamente con le tabelle di riferimento ASTM e valutati.

Il tipo di corrosione può essere classificato come P (pitting) o E (exfoliation) e il grado di sfogliatura è valutato da A a D (D è il livello peggiore).

Sottoposta a questa prova, la 7075-T651 ha ottenuto un risultato negativo: la corrosione, del tipo da sfogliatura, è stata valutata con il grado EC.

Si sono osservati gravi danneggiamenti superficiali con attacchi intergranulari, penetrati sotto lo strato superficiale.

La lega Alumecc 99 è stata valutata con il grado EA/P, presentando una sfogliatura minima, se non addirittura nulla; l'attacco predominante è risultato essere il pitting.

I risultati del test sono riportati nella fig. 27.

Il valore del limite elastico allo 0,2% dell'Alumecc 99 è maggiore di quello della 7075-T651, come evidenziato dalla fig. 28. Questa combinazione unica di resistenza e resistenza alla corrosione è stata raggiunta ottimizzando l'analisi chimica ed il trattamento termico.

Sono attualmente in esercizio numerosi stampi di prova in Alumecc 99 in svariati paesi.

CONCLUSIONI

Negli ultimi 20 anni c'è stato un notevole sviluppo nell'impiego delle leghe di alluminio per lo stampaggio plastica.

Ciò è dovuto sia ad un'augmentata pressione per ridurre i tempi di produzione, sia ad una maggiore sensibilità dell'industria dello stampaggio, diventata più consapevole delle

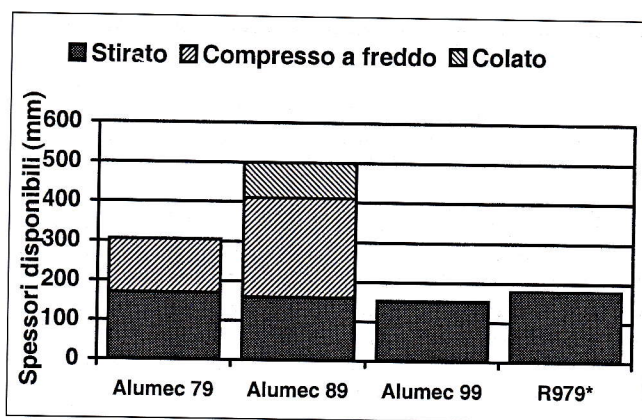


Fig. 29 - Spettro dei prodotti Alumecc prodotti da British Aluminium Plate e distribuiti in Italia in esclusiva da Thyssen Italia spa (R979 è attualmente in sperimentazione).

Fig. 29 - Range of Alumecc products, produced by British Aluminium Plate and distributed in Italy by Thyssen Italia SpA (R979 is currently experimental).

possibilità offerte da materiali fino ad allora reputati adatti unicamente per impieghi più "soft".

I produttori di alluminio hanno reagito sviluppando prodotti specifici per il mercato dello stampaggio plastica, continuando al contempo ad offrire le leghe standard.

Anche i distributori specializzati hanno svolto un ruolo importante nel consigliare gli utilizzatori, nel promuovere e rendere disponibili i diversi materiali, fra cui l'utilizzatore può scegliere.

La scelta del prodotto dipende in primo luogo da un compromesso fra le proprietà ad esso richieste, poiché nessun prodotto possiede tutte le caratteristiche desiderate.

L'intento di questa relazione è di tracciare le principali linee guida, che dovrebbero essere tenute a mente.

British Aluminium Plate ha sviluppato la gamma di prodotti Alumecc specificatamente per l'industria dello stampaggio plastica.

Proprio per venire incontro ad ogni nuova necessità di questo settore di mercato in continuo, rapido sviluppo, British Aluminium Plate è impegnata a continuare lo sviluppo sia dei prodotti sia dei servizi, in collaborazione con i suoi distributori esclusivi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Aluminium Standards and Data" - The Aluminium Association
- [2] M. Weiner: "Hard Anodisers of Large Parts", Metal Finishing, August 1995, 62-65
- [3] PJ Gregson, J Newman, A Gray: "Effect of surface treatment of fatigue properties of Al-Li-Cu-Mg-Zr and Al-Zn-Mg-Cu-Zr plate", Materials Science and Technology, Jan 1989, Vol 5, 65-70
- [4] Torriani, Bevan, Glover: "Elettroerodibilità fine delle leghe dure di alluminio per stampi plastica", Stampi - maggio '99
- [5] "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", Society of Manufacturing Engineers
- [6] "The Properties of Aluminium and its Alloys", The Aluminium Federation Ltd.

**THE PROPERTIES AND CHARACTERISTICS  
OF ALUMINIUM ALLOYS AND THEIR SUITABILITY  
FOR MOULDING THERMOPLASTICS**

The exploitation of aluminium alloys in thermoplastic moulding has come a long way in the last 20 years. This has been driven by increased pressure on project timescales and supported by a mould building industry that has become comfortable using materials previously thought of as 'soft tooling'. Aluminium producers have reacted by developing products specifically for the plastic moulding market whilst continuing to offer standard alloys. Specialist distributors have also played a significant role in advising users, promoting and making available a range of material for users to select from.

The choice of product will depend primarily on the balance of properties required since one product does not possess all the desired characteristics. This paper outlines the major considerations that should be borne mind.

Why are aluminium alloys used in moulding thermoplastics? Aluminium alloys possess many properties that make them attractive as mould materials

**Machinability:** high metal removal rates enable moulds to be produced rapidly and at lower cost than steel.

**Thermal Conductivity:** over three times that of steel. Gives reduced moulding cycle times.

**Low density:** one third that of steel. Reduces weight – important in large moulds.

From purely a mouldmaking viewpoint, aluminium alloys are very easy to work with and would be the first choice amongst most toolmakers.

So why is more aluminium not used in thermoplastic moulding?

There are a number of reasons.

The moulding process and run length partly dictate the conditions under which a mould material has to perform. Other factors that influence these conditions include mould design and the environment in which the mould operates. The response of the mould material to these conditions will depend upon its properties and characteristics and it is this response that usually decides the mould life. Since the usefulness of an aluminium alloy in plastic moulding largely depends on its properties, the degree to which aluminium alloys have grown in consumption is closely linked with the availability to mouldmakers of alloys with attractive properties and characteristics.

**Alloy availability**

In the early days of aluminium moulds, only a limited number of alloys were commercially available from aluminium distributors. The introduction of 7075-T651 enabled aluminium alloys to be used for short to medium length production run injection moulds.

With increased use made of 7075-T651 in the 1970's, British Aluminium Plate (then Alcan Plate) developed Alumecc 79' specifically for the plastic mould making industry.

In the late 1980's the mouldmaking industry in Europe and North America were recognising the important role that aluminium alloys could play in reducing mould production times for so-called technical moulded parts.

British Aluminium Plate reacted to these changing needs by developing Alumecc 89'

Product awareness amongst mouldmakers and specifiers Mouldmakers world-wide have been very conservative in their approach to new mould materials. In the 1980's British Aluminium Plate recognised the importance of making Alumecc 79® available through distributors that specialised in mould materials. Such distributors were often from a tool-

steel background and were skilled in promoting and selling the benefits of high quality mould materials to mouldmakers and specifiers. Rather than take a traditional approach and fight of such competition with toolsteel, a number of these distributors wished to add aluminium mould plate to their range of mould materials. In 1984, British Aluminium Plate (then Alcan Plate) appointed Thyssen as their exclusive distributor for Alumecc 79® in France. This close working relationship continues today and in recent years the company has worked closely with Thyssen Italia on a similar basis. What concerns do users have about aluminium mould materials?

As stated earlier, many of the basic properties of aluminium alloys make them attractive as a plastic mould material. The concerns that arise are largely about specific properties and characteristics relevant to mouldmaking and use in particular thermoplastic moulding applications. These can be summarised as follows:

**In mouldmaking**

- How do different alloys behave during conventional and EDM machining?
- What level of surface finish can be achieved by polishing?
- How do different materials respond to surface treatment?
- Do these characteristics vary as plate thickness increases?
- How uniform are these characteristics in thick section material?
- Can aluminium materials be repair welded?

**In Plastic moulding**

- How many parts will the mould produce?
- Will the material resist parting line damage over the desired moulding run length?
- Will shut-out areas suffer any damage?
- How do sharp internal corners affect performance?
- Will textured and polished surfaces retain their surface finish during the life of the mould?
- How do these characteristics vary throughout the thickness of large cross-section material?
- How do the above characteristics change at elevated temperatures?
- How resistant are aluminium materials to corrosion in cooling channels?
- How do pinch-off areas (knife areas) perform in blow moulds?

To a mould materials producer, these questions are enquiring about specific alloy properties and characteristics, such as chemical composition, mechanical properties (tensile and compressive strength, hardness and fatigue performance), microstructure, machinability, welding, corrosion resistance.

**Chemical Composition**

The Alumecc products – Alumecc 79, Alumecc 89 and Alumecc 99 – are of proprietary composition but are in the Al-Zn family (7xxx) of alloys.

Response to surface treatment and weldability are both primarily influenced by chemical composition.

Hard anodising is a surface treatment used specifically on aluminium: in addition to improved abrasion resistance, hard anodised coating can also improve corrosion resistance in mould cavities and cores. Whilst all aluminium alloys can be hard anodised, some alloys are more suitable than others, as the ones of the 7XXX series (ref. Table 2).

Weldability is also influenced by chemical composition. Mould makers are usually concerned about weldability in order to repair or modify moulds. This involves adding small amounts of metal to change the form of a core and cavity

For this reason, alloys that are not normally considered weldable can readily be welded to effect repair or modifications.

However, Alumecc 79, Alumecc 89 and Alumecc 99 can be repair/modification welded with good results, providing the correct procedures are followed (ref. Fig. 7).

The quality of a repair weld is influenced by pre-weld preparation, welding process, conditions, and the choice of filler alloy. The general principle is to weld as fast and as cool as possible to minimise heat input. The use of a 5xxx filler alloy is recommended in order to obtain the maximum weld strength and promote natural ageing and strength recovery in the heat affected zone. However, it should be noted that weld regions will photoetch differently to the parent metal.

#### Mechanical properties

The basic mechanical properties of a mould material, measured at room temperature, have a major influence on its performance. An appreciation of mechanical properties is not as simple as it would first seem and requires an understanding of more than just the hardness characteristics of different alloys (ref. Fig. 8): firstly, moulds are typically made from plate in the thickness range 20–800mm. Significant changes in mechanical properties of some alloys can occur throughout such a wide thickness range. Secondly, when moulding conditions dictate the use of mould temperatures greater than 100 °C, elevated temperature properties, rather than those measured at room temperature, become an important consideration.

Thirdly, as aluminium moulds are used for longer and longer production runs, resistance to failure due to fatigue rather than simple tensile properties becomes an overriding factor.

Room temperature tensile properties: The  $\frac{1}{2}$  thickness LT (long transverse) 0.2% Proof Stress is a useful measure of resistance to parting line and shut-out face damage, and also provides a guideline for a material's ability to retain a textured or polished surface finish, particularly over prolonged production runs. Many alloys, most notably the heat treated ones, exhibit a reduction in 0.2% Proof Stress as plate thickness increases (ref. Fig. 9). This can be very pronounced in the case of 7075-T651 and is due to the quench sensitivity of this alloy. British Aluminium Plate sought to reduce these problems in the late 1970's with the development of Alumecc 79. This product is less quench sensitive than 7075 due to modifications in composition. In thicknesses below 75mm its strength levels are comparable to 7075-T651. However, above 75mm thick, strength levels do not decrease as rapidly as 7075-T651.

Following the success of Alumecc 79, British Aluminium Plate developed Alumecc 89 up to a maximum thickness of 305mm. This product, being free of chromium, is less quench sensitive than Alumecc 79. Tensile properties are greater than both 7075-T651 and Alumecc 79 across the whole thickness range. These improvements in mechanical properties have allowed mould designers to use Alumecc 89 for more demanding moulding conditions where higher injection pressures, longer run lengths and tighter dimensional tolerances are required on the moulded art. Through thickness hardness is another important characteristic, particularly in large moulds with deep cavities. Alumecc 89 is virtually free of top to bottom surface variation in thicknesses up to 200mm. This is the major feature of Alumecc 89 which has enabled mould makers take advantage of the speed at which aluminium moulds can be made and use them in demanding technical moulding applications, over prolonged production runs (ref. Fig. 10).

Elevated temperature performance: traditionally, high strength aluminium mould materials have been used to process relatively simple thermoplastics where mould tempera-

tures seldom exceed 100°C. As resin technology advances, more and more plastic processors are looking to exploit the advantages of aluminium moulds but at higher operating temperatures, generally up to 180°C. In this case, mechanical properties at elevated temperature are a more relevant indicator of the material's performance. British Aluminium Plate is currently developing a new product, named Alumecc HT, for elevated temperature applications (ref. Fig. 11).

Fatigue Performance: It is generally known that alloying, processing, or heat treatment that improve tensile strength tend to increase the fatigue strength of aluminium alloys. However, moulds for thermoplastics, like many engineering structures, contain stress raisers such as sharp internal corners. If fatigue failure is going to occur, it will usually be a result of cracks initiating at such stress raisers. The presence of severe stress raisers has more influence on mould performance than the choice of mould material. In plastic injection moulds, stress raisers can arise from a number of sources: unsupported slender sections, particularly shut-offs, can be susceptible to fatigue failure since they can deflect during moulding (Ref. Fig. 16-17). Such features often have a small base radius which serves as a stress raiser. Another source of stress raiser can be a wire eroded surface. Wire erosion melts metal in order to cut and inevitably leaves a fine re-solidified layer. This layer will contain numerous micro cracks, which have been found to act as initiation sites from which fatigue cracks grow. Furthermore, due to the relatively high heat input of the wire erosion process, the work piece will contain a heat-affected layer; that in heat-treated alloys will be overaged compared to the parent material. This area will be of lower tensile strength (and hardness) than the rest of the workpiece and may therefore have a foreshortened fatigue life. For production run tooling, such surfaces should be removed in order to protect the mould from such failure mechanisms (Ref. Fig. 19).

Similarly, spark eroded surfaces (EDM), also often used to provide a textured finish, have been found to exhibit micro-cracks but to a lesser degree.

#### Microstructure

Many properties of importance to users are a reflection of the microstructure, including the mechanical properties discussed above.

However, in mouldmaking, polishability can be of critical importance. In order to obtain a high quality finish, the material's microstructure should be free from harmful defects, such as porosity, large second phase particles and non-metallic inclusions.

Porosity: 5083 alloy, often used for large moulds in the cast condition, exhibit porosity and large second phase particles due to the slow cooling rates when casting and solidifying large blocks. Alumecc 79, based on 7022 alloy, has performed very well since its introduction, however British Aluminium Plate recommends Alumecc 89 for such applications. Alumecc 89 and Alumecc 99 have been polished to near optical quality surface finish for applications such as short series injection moulded automotive light lenses.

Large second phase particles are generally very hard compared to the surrounding material and may appear in relief on the polished surface, thereby giving greater micro-roughness than desired. Alternatively, such particles can be pulled out during polishing, leaving a void which maybe appear similar to porosity. Such particles can arise through having high levels of impurities in the alloy composition or through insufficient thermal treatment prior to hot rolling.

Non-metallic inclusions arise as a result of poor liquid metal quality prior to solidification.

#### Machinability

This term covers many aspects of a material's behaviour du-

ring machining: metal removal rates, chip characteristics, distortion, surface finish, tool wear.

Normally metal removal rates achievable with aluminium alloys are higher than other common engineering materials (Ref. Fig. 20). Chip characteristics vary between alloys. As a guide, chip length in rolled plate (and extruded bar) follows the trend: -

Cast blocks 5083>6082>2XXX>7075>Alumec 79>Alumec 99>Alumec 89(<305mm).

Distortion after machining: heat treated alloys exhibit higher levels of internal stress than non-heat treated alloys since they experience rapid quenching in water as part of their thermal processing. Rolled plate designated TX51 or TX52 (e.g. T651 or T652) is stress relieved after quenching either by controlled stretching or cold compression. This reduces internal stress to an acceptably low level. Rolled plate made from non-heat treated alloys in the annealed condition, such as 5083-O, maybe almost stress free depending on their method of manufacture. Cast materials, usually used in thick cross sections where rolled plate is not available, are also largely free of internal stress.

Distortion on machining follows the trend: Cast blocks<5083<6082<2XXX<7075 = Alumec 79 =Alumec 99<Alumec 89. Low distortion is a desirable characteristic for toolmakers but usually has to be achieved by accepting a reduction in other properties, usually mechanical properties. For this reason, toolmakers have developed machining practices to deal with distortion in high strength materials. These involve rough machining, clamp removal to allow movement to occur, followed by re-skimming of datum faces and final machining. Finishing allowance usually depends on the size of mould being made, but is typically 3 – 6mm.

Machined surface finish is largely dependent on the strength of the material: higher strength levels give cleaner cutting characteristics and therefore better surface finish.

Tool wear is a secondary consideration when selecting a mould material. Generally, the high the materials strength, the greater the tool wear seen on high-speed steel cutters.

#### Corrosion resistance

Fortunately aluminium alloys exhibit good resistance to general corrosion and problems are seldom experienced with loss of finish during storage, especially if mould protective spray coatings are used.

Compatibility with thermoplastics during moulding is important for a cavity surface to retain its finish during the production run, and preferably during the life of the mould. Most of the thermoplastics, which are moulded with aluminium tooling, present no problems.

In recent years, fire retardant grades of simple thermopla-

stics have been used. These contain additives that cause mildly aggressive gases to be given off during curing. However, Alumec 79 and Alumec 89 have been used successfully in the production moulding of such plastics. PVC can cause problems with most mould materials and aluminium is no exception, particularly in humid climatic conditions. The grade of PVC, environmental conditions and the length of production run will dictate whether aluminium alloys are a viable alternative to more corrosion resistant materials.

Cooling channel corrosion can occur when moulds are used for long production runs such as in blow moulding. The root cause is the coolant not being fully compatible with aluminium alloys (ref. Fig. 22).

Aluminium moulds are usually part of a cooling water circuit comprising other metals. As such, the water is usually treated with corrosion inhibitors to prevent all the metals in the system from corroding. In addition, the water is treated with anti-bacteria agents to control the development of harmful organisms in the cooling system.

Aluminium alloys react to corrosive environments in different ways. In some alloys corrosion may not affect mould performance to a great degree, whilst in others it can cause catastrophic failure of the mould.

7xxx series alloys such as 7075-T651 offer the highest strength levels but often the greatest problems with cooling channel corrosion. This is because, in the presence of a corrosive environment such as that often found in cooling systems, these alloys suffer exfoliation corrosion. This takes the form of preferred attack along numerous grain boundaries parallel with the rolled surfaces of the plate (intergranular corrosion).

In extreme cases, blow moulds have been seen to suffer cracking along the length of the cavity, which is called stress corrosion cracking. Stress corrosion cracking (SCC) is a result of the combined effect of a corrosive environment and tensile stress acting upon a susceptible material. All 7xxx series are, to a greater or lesser degree, susceptible to SCC (Ref. Fig. 25).

The tensile stress required to cause a stress corrosion crack to form can be low in very susceptible materials such as 7075-T651. Such a stress can arise from the use of inserts fitted with an interference fit and from the differential expansion between the cold cooling channel surface and the warmer cavity surface. This latter effect is most pronounced where the cooling channel/cavity wall thickness is small, typically less than 7mm.

British Aluminium Plate has developed Alumec 99. This material offers virtual immunity to exfoliation corrosion and a high degree of resistance to SCC whilst having superior mechanical properties to 7075-T651.

MEMORIE

3/2000