

Criteri di selezione dei materiali per stampi in lega di alluminio

M. Buffetto, U. Derudi

Dopo una breve panoramica sui problemi relativi all'utilizzo delle leghe di alluminio per la realizzazione di stampi per materie plastiche ed elastomeri, e sulle principali tipologie di materiali disponibili sul mercato, viene illustrata la correlazione tra alcuni requisiti funzionali dello stampo e i parametri tecnologici del relativo materiale. Vengono quindi presentati, in forma comparativa, i principali parametri tecnologici delle tipologie di materiali individuate.

INTRODUZIONE

Il panorama dei materiali a base alluminio per la realizzazione di stampi per la formatura di materie plastiche ed elastomeri offerti dal mercato è vario, complesso e a volte poco comprensibile ad alcuni utilizzatori a causa dei seguenti principali fattori:

- Conoscenza relativamente scarsa, rispetto ai tradizionali materiali ferrosi, delle leghe di alluminio, dei loro stati tipici di trattamento termico e/o meccanico, e delle conseguenti proprietà;
- Proposta, da parte dei produttori, di materiali specifici per stampi che dovrebbero enfatizzare determinate proprietà particolarmente significative per questo settore applicativo. Molte delle leghe di alluminio per impieghi strutturali codificate dalla Aluminum Association e riprese dalle varie normative nazionali ed internazionali sono state originariamente sviluppate per impieghi diversi dalla costruzione di stampi per materie plastiche (aeronautica, costruzioni navali, meccanica generale); i relativi stati di trattamento termico e/o meccanico sono stati ottimizzati per ottenere il bilanciamento di proprietà richiesto dalle applicazioni originarie.

La richiesta di materiali specialistici per la costruzione di stampi per materie plastiche ha comportato in alcuni casi lo sviluppo di materiali caratterizzati da variazioni minori di composizione chimica rispetto alle leghe originarie e/o la messa a punto di stati di trattamento termomeccanico diversi da quelli originari, allo scopo di esaltare determinate proprietà, ad esempio la durezza, particolarmente importanti per queste applicazioni, anche se a scapito di altre, ad esempio la resistenza a tenso-corrosione, che per queste applicazioni sono in generale trascurabili.

- Uso generalizzato di sigle commerciali da parte di produttori e distributori, a tutela della propria area di mercato; di conseguenza accade che materiali anche molto simili, se non identici, vengano proposti con nomi commerciali differenti.
- Utilizzo, nelle schede di presentazione dei materiali, di valori "tipici" anziché dei valori minimi garantiti per definirne le proprietà; non viene in generale chiarito tecnicamente il significato del termine "tipico" (valore medio, mediano, media dei valori migliori ottenuti sui primi lotti di produzione), e quindi risulta impossibile eseguire confronti significativi tra materiali con prestazioni non molto differenti.

Anche la filosofia di presentazione delle leghe di alluminio

per stampi per materie plastiche non agevola a volte la comprensione, enfatizzando le possibilità di sostituzione degli acciai tradizionalmente usati per la costruzione di stampi, e conseguentemente le proprietà che numericamente approssimano o superano quelle degli acciai piuttosto che puntare a fornire una panoramica delle caratteristiche, delle possibilità e dei limiti dei singoli materiali.

Questo sarebbe particolarmente importante, tenuto conto che, in generale, non esiste una lega di alluminio ottimale o ideale per tutte le applicazioni nel campo della formatura delle materie plastiche e delle gomme, mentre nella maggior parte dei casi è possibile selezionare il materiale ottimale per le specifiche applicazioni.

Nel seguito della presente memoria verranno presentati dati e sviluppate argomentazioni relativamente ad alcune leghe di alluminio utilizzate per la costruzione di stampi, facendo riferimento alle denominazioni delle leghe e degli stati di trattamento registrati dalla Aluminum Association e ripresi dalle Norme europee.

MATERIALI

La trattazione successiva riguarda i seguenti materiali:

2017 - T451	2024 - T351	2024 - T851
2219 - T851	5083 - F	6082 - T6151
7010 - T65X	7022 - T65X	7050 - T65X
7075 - T651		

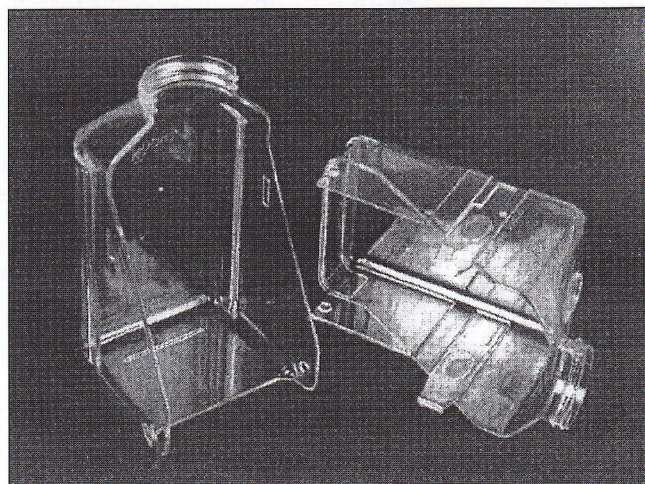


Fig. 1 - Vaschetta portasapone in polycarbonato; >100.000 chiusure realizzate; stampi in lega di alluminio; temperatura degli stampi 90°C (Fonte: Pechiney Rhenalu).

Fig. 1 - Liquid soap holder in polycarbonate; >100000 closures at the moment; dies in aluminium alloy; dies service temperature 90°C (Courtesy: Pechiney Rhenalu).

M. Buffetto, U. Derudi, Aviometal, Arsago Seprio (VA)

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

Tutti i materiali sono leghe da lavorazione plastica prodotte sotto forma di piastre laminate a caldo o fucinate; tranne un caso (5083 - F) si tratta di leghe da trattamento termico, fornite nello stato finale di trattamento e sottoposte a processi di detensionamento mediante prestiratura o precompressione. Si ritiene che la maggior parte dei prodotti presenti sul mercato approssimi in modo significativo qualcuno dei materiali elencati.

DESCRIZIONE E CENNI STORICI

2017 - E' la prima lega Al - Cu - Mg sviluppata industrialmente; è stata ampiamente utilizzata in passato per la meccanica generale, per applicazioni strutturali e mezzi di trasporto.

Attualmente è utilizzata principalmente per la produzione di rivetti, e, nel campo degli stampi, dall'industria calzaturiera per il buon compromesso di prezzo e prestazioni.

2024 - Lega Al - Cu - Mg sviluppata originariamente per impieghi aeronautici, in cui ha trovato larghissima diffusione.

E' stata ed è tuttora ampiamente utilizzata per impieghi strutturali, in genere sotto il nome di Avional 24; è uno dei materiali maggiormente noto e caratterizzato, e per questo motivo è stata inserita nell'elenco come materiale di riferimento.

Le proprietà variano fortemente in funzione dello stato di trattamento termico, e quindi sono stati presi in considerazione due stati diversi.

2219 - Lega Al - Cu - Terre Rare, sviluppata in epoca relativamente recente per impieghi aeronautici che richiedono caratteristiche meccaniche elevate ad alta e a bassa temperatura e/o buona saldabilità associata a valori meccanici elevati.

5083 - Lega Al - Mg di uso generale, utilizzata nelle costruzioni navali, automobilistiche, aeronautiche, civili e per applicazioni criogeniche, ove si richiedano caratteristiche meccaniche non elevate, associate a buona saldabilità ed ottima resistenza a corrosione.

E' generalmente disponibile anche in spessori molto elevati.

6082 - Lega Al - Si di uso generale, utilizzata nelle costruzioni navali, automobilistiche, e nell'impiantistica chimica, ove si richiedano caratteristiche meccaniche non elevate, associate a buona saldabilità e buona resistenza a corrosione.

7010 - Lega Al - Zn - Mg - Cu - Zr utilizzata da tempo, in condizioni tipo T7XXX, nelle costruzioni aeronautiche come materiale strutturale per parti macchinate, specialmente quando debbano essere ricavate a partire da spessori elevati, ove si richiedano valori elevatissimi delle caratteristiche meccaniche, della resistenza a tensocorrosione e della tenacità alla frattura.

Viene proposta come materiale per stampi in condizioni tipo T65X, che esaltano le caratteristiche di durezza e resistenza meccanica, ponendo il materiale ai vertici raggiungibili dalle leghe di alluminio, a scapito delle altre proprietà, peraltro poco interessanti per la specifica applicazione.

7022 - Lega Al - Zn - Mg - Cu - Terre Rare di uso generale, utilizzata nelle costruzioni meccaniche, ove si richiedano caratteristiche meccaniche elevate, associate a caratteristiche di saldabilità e resistenza a corrosione.

7050 - Lega Al - Zn - Mg - Cu - Zr con proprietà ed impieghi tipici simili a quelli della lega 7010.

Viene proposta come materiale per stampi in condizioni tipo T65X, analogamente alla lega 7010.

7075 - Lega Al - Zn storica, diffusissima sia nelle applicazioni aeronautiche che nella meccanica generale (Ergal 55), ove si richiedano caratteristiche meccaniche molto elevate. Come la lega 2024 è uno dei materiali più noti e meglio caratterizzati, e quindi costituisce un valido riferimento per gli altri materiali esaminati.

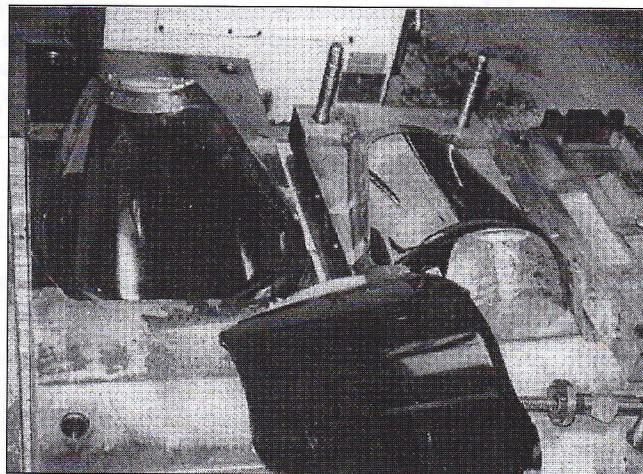


Fig. 2 - Parabrezza motociclistico in Makrolon; >17.000 chiusure realizzate; stampi in lega di alluminio; temperatura degli stampi da 120°C a 140°C (Fonte: Pechiney Rhenalu).

Fig. 2 - Motorbike windshield in Makrolon; >17000 closures at the moment; dies the aluminium alloy; dies service temperature 120 to 140 °C (Courtesy: Pechiney Rhenalu).

COMPOSIZIONE CHIMICA

La composizione chimica dei materiali esaminati, limitatamente agli elementi significativi, è riportata nella tabella 1.

CRITERI DI SELEZIONE

La lega di alluminio per stampi ottimale, ed il relativo stato di trattamento termomeccanico, devono essere individuati in funzione della specifica applicazione; tra i parametri di selezione, espressi in termini di requisiti funzionali dello stampo, vanno considerati i seguenti:

- Parametri di processo
- Numero di chiusure e contesto produttivo
- Tipo di polimero o elastomero
- Geometria del pezzo
- Finitura superficiale richiesta.

CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Le proprietà delle leghe di alluminio vengono definite a mezzo di parametri tecnologici quantitativi o qualitativi quali:

- Caratteristiche fisiche (densità, conducibilità termica, ecc.)
- Caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente
- Caratteristiche meccaniche a temperature elevate
- Lavorabilità alle macchine utensili
- Stabilità dimensionale dopo lavorazione d'utensile
- Saldabilità
- Lucidabilità
- Resistenza a corrosione.

Non è purtroppo in generale possibile massimizzare in un

Legge Alloy	Composizione chimica (peso %) Chemical composition limits (weight %)								
	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V	Ti	Altri
2017	0.20	3.5	0.40	0.40					Zr + Ti
	0.8	4.5	1.0	1.0					0.25
2024		3.8	0.30	1.2					
		4.9	0.9	1.8					
2219		5.8	0.20				0.05	0.02	Zr 0.10
		6.8	0.40				0.15	0.10	0.25
5083			0.40	4.0	0.05				
			1.0	4.9	0.25				
6082	0.7		0.40	0.6					
	1.3		1.0	1.2					
7010		1.5		2.1		5.7			Zr 0.10
		2.0		2.6		6.7			0.16
7022		0.50	0.10	2.6	0.10	4.3			Zr + Ti
		1.0	0.40	3.7	0.30	5.2			0.20
7050		2.0		1.9		5.7			Zr 0.08
		2.6		2.6		6.7			0.15
7075		1.2		2.1	0.18	5.1			
		2.0		2.9	0.28	6.1			

Tabella 1

Parametri tecnologici Properties	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Caratteristiche fisiche Physical	↑									
2 Caratteristiche meccaniche Mechanical RT	↑			↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑
3 Caratt. ad alta temperatura Mechanical Elev. Temp.			↑							
4 Lavorabilità alle macchine Machinability	↑			↑	↓		↑	↓		↑
5 Stabilità dimensionale Dimensional stability	↓			↓	↑		↓	↑	↑	
6 Saldabilità Weldability	↓					↑	↓			
7 Lucidabilità Attitude to polishing	↑			↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑
8 Resistenza a corrosione Corrosion resistance	↓			↓	↑		↓	↑		
9 Spessori disponibili Available thickness	↓				↑		↓		↑	
10 Costo Cost	↑			↑			↑			↑

Note:

↑ **All'aumentare del parametro aumenta in generale il parametro associato**
Increasing this parameter the associated parameter generally increases

↓ **All'aumentare del parametro diminuisce in generale il parametro associato**
Increasing this parameter the associated parameter generally decreases

Tabella 2

materiale tutti i parametri tecnologici; l'aumento di un parametro produce in generale il miglioramento di alcuni altri parametri, e il peggioramento di altri, come mostrato nella tabella 2, in cui, a titolo orientativo, sono stati inseriti anche i parametri spessori disponibili e costo del materiale.

CORRELAZIONE TRA REQUISITI FUNZIONALI E PARAMETRI TECNOLOGICI

La correlazione tra i parametri tecnologici che caratterizza-

no le proprietà dei materiali ed i principali requisiti funzionali degli stampi sono illustrati, in prima battuta, in tabella 3

Parametri di processo

Dovrebbero essere tenuti in considerazione almeno i seguenti parametri:

- Pressione di iniezione del polimero Pi
- Temperatura di esercizio dello stampo Ts
- Temperatura di iniezione del polimero Ti
- Velocità di raffreddamento

La pressione di iniezione Pi determina, assieme alla sezione

Parametri tecnologici Materials properties	Caratteristiche funzionali Functional requirements				
	Parametri di processo Process parameters	No. Chiusure e contesto Closures & context	Tipo di polimero Type of polymer	Geometria Shape	Finitura Superficiale Surface finish
Caratteristiche fisiche Physical	✓		✓		
Caratteristiche meccaniche Mechanical R.T.	✓	✓	✓		✓
Caratt. ad alta temperatura Mechanical H.T.	✓	✓	✓		
Lavorabilità alle macchine Machinability				✓	✓
Stabilità dimensionale Dim. Stability	✓	✓		✓	
Saldabilità Weldability		✓			
Lucidabilità Polishing					✓
Resistenza a corrosione Corrosion res.		✓	✓		
Spessori disponibili Avail. thkss				✓	

Tabella 3

retta dell'incisione sul piano di divisione degli stampi, la forza di chiusura richiesta.

Generalmente la forza di chiusura applicata è mantenuta pari al 115 + 125 % della forza di chiusura richiesta per equilibrare la pressione interna.

Tale forza deve essere sostenuta dal materiale sul piano di divisione degli stampi senza deformazioni permanenti.

Inoltre, per geometrie del pezzo e tecnologie di formatura particolari e per stampi con elevati rapporti di snellezza lo stampo va considerato alla stregua di un recipiente in pressione.

La temperatura di esercizio dello stampo, trascurabile nel caso di stampi in acciaio, diviene un parametro significativo nel caso di stampi in lega di alluminio, per cui le caratteristiche meccaniche iniziano a decadere già nei campi di temperature generalmente interessati dalle tecnologie di formatura delle materie plastiche e, in modo particolare, delle gomme. La temperatura di iniezione, analogamente alla T_s , può divenire un parametro significativo per le superfici dello stampo immediatamente affacciate o adiacenti ai punti di iniezione, specialmente in presenza di elevati requisiti di finitura superficiale.

La velocità di raffreddamento, richiesta per motivi tecnologici o di costo, determina la necessità o meno di circuiti di raffreddamento forzato, in funzione delle masse e superfici del pezzo e degli stampi e delle caratteristiche fisiche del materiale degli stampi.

Numero di chiure e contesto produttivo

In funzione del numero di chiusure richieste (produzione prototipica, di piccola o grande serie) ci si può orientare su materiali di uso generale, di prezzo più contenuto, piuttosto che su materiali sofisticati di derivazione aeronautica recente, di prezzo più elevato.

Il contesto produttivo, ed in particolare la probabilità di introduzione di modifiche dopo la realizzazione degli stampi, può orientare la scelta su materiali con buona saldabilità.

Tipo di polimero o elastomero

Il tipo di polimero, unitamente alla geometria del pezzo, determina i parametri del processo di formatura.

La presenza di cariche può richiedere caratteristiche particolari di resistenza all'abrasione.

Lo sviluppo durante il processo di formatura di prodotti a reazione fortemente acida o alcalina può determinare l'esigenza di protezioni superficiali particolari dell'incisione, o tende ad orientare la scelta verso materiali con elevata resistenza alla corrosione.

Geometria del pezzo

La geometria del pezzo, e di conseguenza degli stampi, determina i requisiti di spessore iniziale del semilavorato di partenza, i requisiti di lavorabilità alle macchine utensili e di stabilità dimensionale dopo lavorazione di macchina, la presenza e complessità delle movimentazioni.

Finitura superficiale

I requisiti di finitura superficiale dei pezzi determinano i requisiti relativi delle superfici delle incisioni degli stampi, e quindi possono richiedere particolari caratteristiche di lucidabilità e fotoincisibilità del materiale.

CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Caratteristiche fisiche

Nella tabelle 4 e 5 sono riportati i valori delle seguenti caratteristiche fisiche:

- Densità
- Conducibilità termica a temperatura ambiente ($W/m^{\circ}C$)
- Conducibilità elettrica (% IACS)
- Coefficiente di dilatazione termica lineare ($1m/m^{\circ}C$) da temperatura ambiente alla temperatura indicata ($^{\circ}C$).

I dati delle tabelle mostrano che:

- I valori della densità e del coefficiente di dilatazione termica lineare non differiscono in modo significativo, per la specifica applicazione, tra i vari materiali.
- I valori di conducibilità termica, pur essendo in ogni caso molto superiori a quelli dei materiali ferrosi (circa 30 per gli acciai al carbonio e circa 10 per gli acciai inossidabili) mostrano apprezzabili differenze; questo parametro potrebbe essere preso in considerazione quando i risparmi di tempo di ciclo dovuti ad un più rapido raffreddamento vengono una voce significativa nel costo totale di produzione delle parti.
- I valori di conducibilità elettrica non mostrano differenze

Tabella 4

Caratteristica Property	2017	2024	Materiale Material		5083
	T451	T351	2024 T851	2219 T851	F
Densità Density	2.80	2.77	2.77	2.84	2.66
Cond. Termica Thermal Conductivity	134	120	151	130	120
Cond. Elettrica Electr. Conductivity	34	30	38	28	29
Dil. Termica Th. Lin. Exp.	100	23.6	22.9	22.5	24.2
	200	23.8	23.8	23.4	25.0
	300	24.7	24.4	26.0	

Tabella 5

Caratteristica Property	6082	7010	Materiale Material		7075
	T65X	T65X	7022 T65X	7050 T65X	T651
Densità Density	2.70	2.82	2.76	2.83	2.80
Cond. Termica Thermal Conductivity	170	153	120	154	130
Cond. Elettrica Electr. Conductivity	41		33	38	33
Dil. Termica Th. Lin. Exp.	100	23.4	23.6	23.5	23.4
	200			24.4	24.3
	300			25.4	25.2

significative per la specifica applicazione; in realtà vengono utilizzati più che altro ai fini del controllo di qualità delle leghe di alluminio, ed in particolare dei materiali per stampi.

CARATTERISTICHE MECCANICHE A TEMPERATURA AMBIENTE

Nelle figure seguenti sono riportati i valori minimi garantiti di:

- Resistenza a trazione Rm (Mpa)
- Limite di snervamento a trazione Rp0.2 (Mpa)
- Allungamento alla rottura A5
- Durezza HBS

per i materiali elencati; i valori sono riferiti a piastre di spessore 100 mm.

In prima approssimazione si può ritenere il valore del limite di snervamento a compressione pari a quello del limite di snervamento a trazione.

Nelle figure da 3 a 6 i valori di 2024-T851 sono riferiti allo spessore di 40 mm; i valori di 7050-T65X ed i valori di limite di snervamento e durezza di 5083-F sono valori tipici.

I dati delle figure mostrano che i materiali considerati coprono una gamma estesa di caratteristiche meccaniche; i materiali di derivazione aeronautica raggiungono valori di resistenza e di limite di snervamento tipici degli acciai al carbonio per stampi.

Poiché in generale i materiali con resistenza più elevata presentano, oltre a buona lavorabilità e lucidabilità:

- Elevati valori di tensioni interne, e quindi minore stabilità dimensionale
- Minori caratteristiche di resistenza a corrosione
- Minore saldabilità
- Prezzo più elevato

rispetto ai materiali, di uso generale, con caratteristiche meccaniche inferiori, è opportuno orientarsi su questi materiali nei casi in cui ci si attenda un reale beneficio dai valori meccanici elevati.

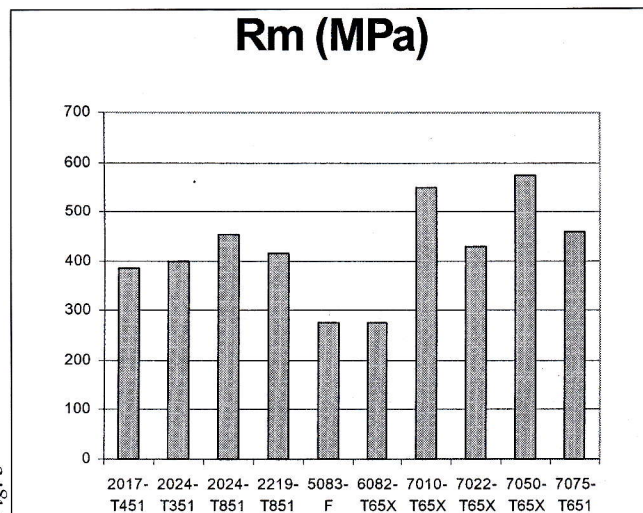


Fig. 3

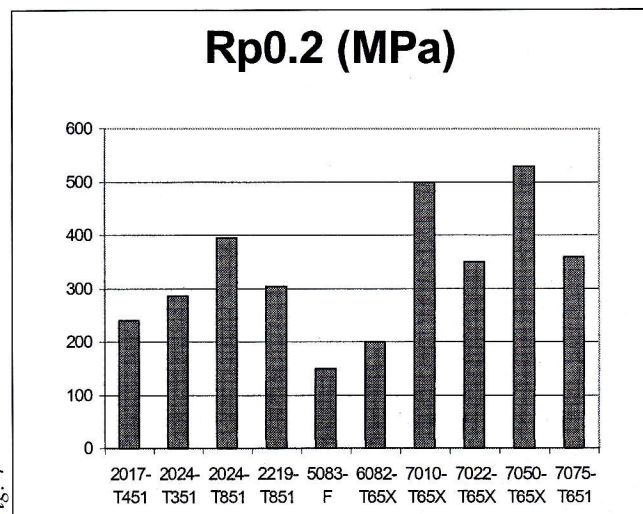


Fig. 4

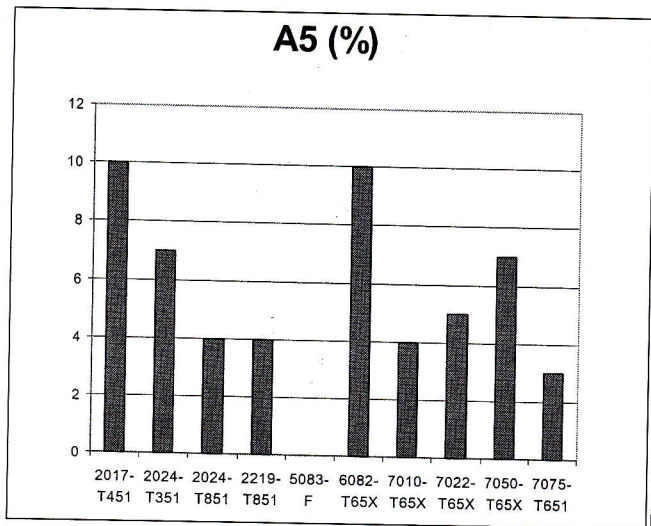


Fig. 5

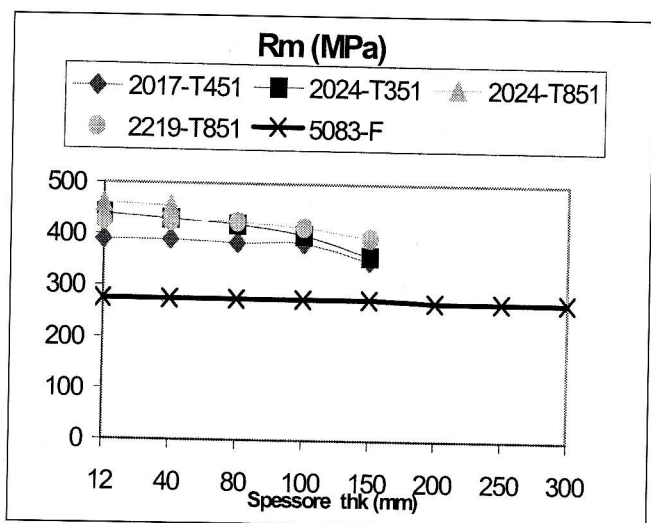


Fig. 7

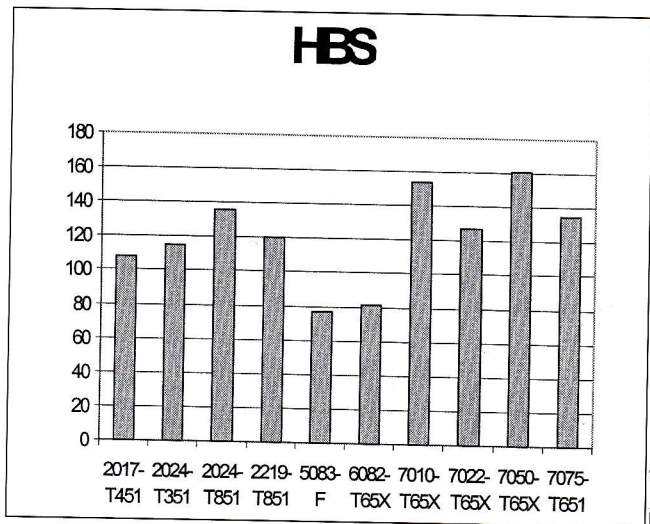


Fig. 6

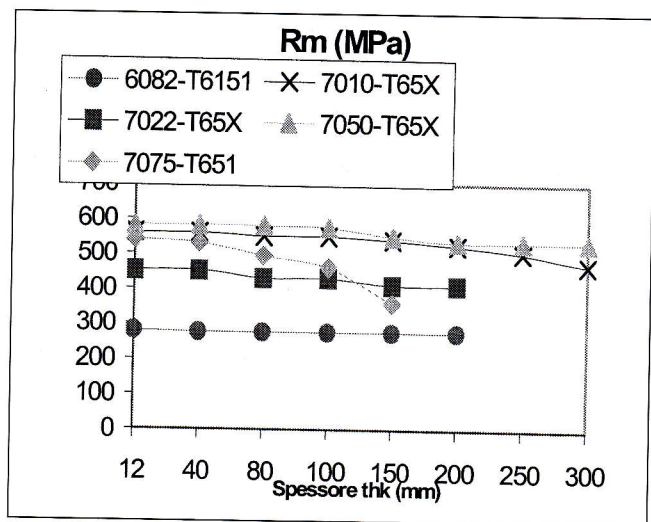


Fig. 8

VARIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE CON LO SPESSORE DEL GREZZO

Le leghe di alluminio le cui caratteristiche meccaniche nello stato di utilizzo sono raggiunte mediante trattamenti termici, meccanici o termomeccanici sono soggette, in modo fortemente variabile in funzione della lega, a variazioni di caratteristiche meccaniche all'aumentare dello spessore del grezzo. Per le leghe da trattamento termico questo fenomeno è ricollegabile alla temprabilità della lega, e quindi si manifesta sotto forma di:

- Diminuzione generalizzata della resistenza meccanica all'aumentare dello spessore del grezzo di partenza
- A parità di spessore, diminuzione di resistenza meccanica dalla superficie al cuore del grezzo.

Quando la durezza del materiale diviene un parametro di scelta significativo, per requisiti di resistenza meccanica o di lucidabilità (in genere favorita dall'elevata durezza) occorre quindi prestare attenzione ai valori di resistenza effettivi del semilavorato utilizzato, ed alla uniformità dei valori dalla superficie al cuore. Non essendo disponibili dati che descrivano compiutamente il problema, a meno di alcuni diagrammi "tipici" forniti dai Produttori, ci si può rifare alle prescrizioni delle Norme vigenti, che stabiliscono i valori meccanici minimi garantiti per grezzi di diverso spessore, rilevati:

- a metà spessore per spessori fino a 40 mm
- a un quarto dello spessore per spessori superiori.

Le figure 7, 8, 9 e 10 mostrano l'andamento dei valori minimi garantiti di Rm ed Rp0.2 in funzione dello spessore del grezzo, e possono costituire una guida efficace per valutare

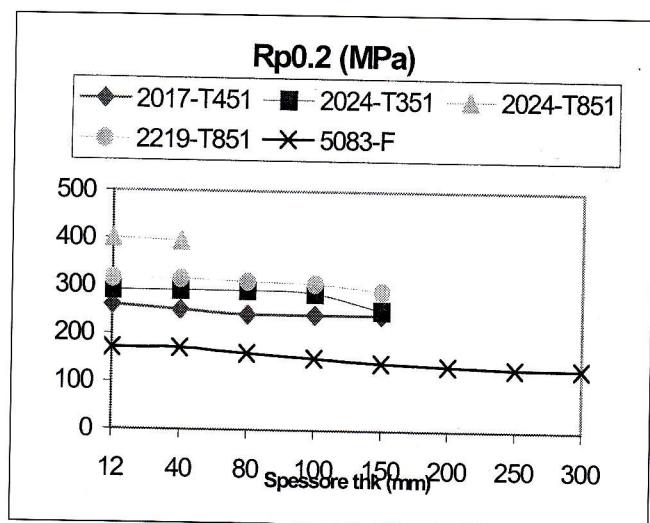


Fig. 9

la temprabilità dei materiali considerati. I valori relativi a 7050 - T65X ed i valori di limite di snervamento di 5083 - F sono valori tipici.

VARIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE CON LA TEMPERATURA

Le leghe di alluminio, come tutti i materiali metallici, sono soggette a decadimento delle caratteristiche meccaniche a temperature superiori alla temperatura ambiente.

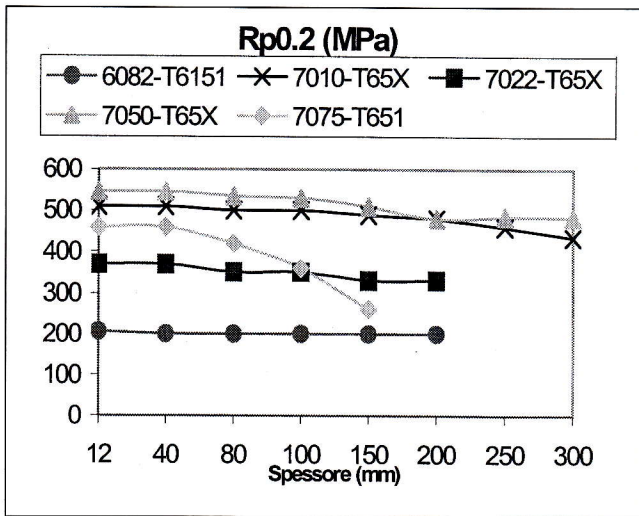


Fig. 10

Alle temperature più basse il decadimento è reversibile, e quindi non dipende dal tempo di mantenimento, e scompare quando il materiale è riportato a temperatura ambiente. Nel caso di leghe sottoposte a trattamenti termici o ad incrudimento, a temperature più elevate il decadimento altera lo stato di incrudimento o di trattamento termico, e quindi risulta irreversibile e dipende dal tempo di mantenimento in temperatura.

Le figure 11, 12, 13 e 14 riportano i valori di Rm e Rp0.2 per piastre di 100 mm di spessore, dopo 10000 ore di permanenza alle temperature indicate.

Per 2024 - T851 i valori si riferiscono allo spessore 40 mm. Per 6082 - T6151, 7022 - T6151, e 7050 - T65X i valori sono tipici.

L'esame delle figure da 11 a 14 mostra che per la maggior parte delle tecnologie di formatura dei materiali termoplastici, in cui la temperatura dello stampo non supera i 100 °C, il decadimento delle caratteristiche meccaniche rimane abbastanza contenuto, e i valori meccanici in temperatura riflettono i valori meccanici a temperatura ambiente.

Per tecnologie particolari che richiedono temperature degli stampi notevolmente più elevate la scelta si orienta su materiali specialistici (tipo 2219) per impieghi ad alte temperature, oppure, in funzione dei valori meccanici in temperatura richiesti, su materiali di uso generale relativamente insensibili alla temperatura.

ALTRE CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

Tra le altre caratteristiche tecnologiche, non immediatamente quantificabili ma comunque di interesse nella costruzione degli stampi occorre considerare almeno:

- Lavorabilità alle macchine utensili
- Stabilità dimensionale
- Lucidabilità
- Saldabilità
- Resistenza alla corrosione
- Resistenza a tenso corrosione

Oltre che la disponibilità dal pronto dei grezzi e l'ordine di grandezza del prezzo.

Lavorabilità alle macchine utensili

Nel caso delle leghe di alluminio il concetto di lavorabilità si associa più al tipo di truciolo che al volume asportabile nell'unità di tempo o alla durata utensile, che sono in ogni caso eccellenti.

Per questo motivo la lavorabilità è generalmente migliore per le leghe ad elevate caratteristiche meccaniche, caratterizzate da minore tenacità.

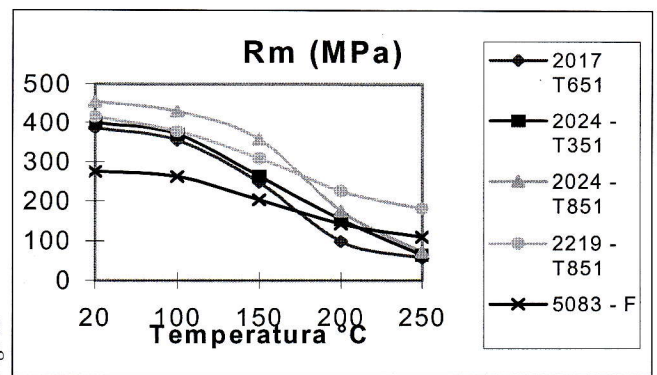


Fig. 11

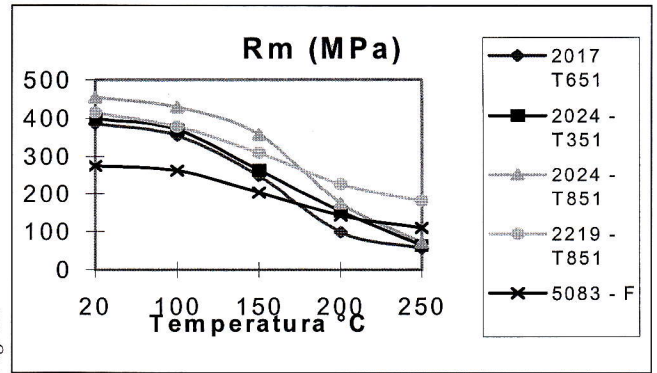


Fig. 12

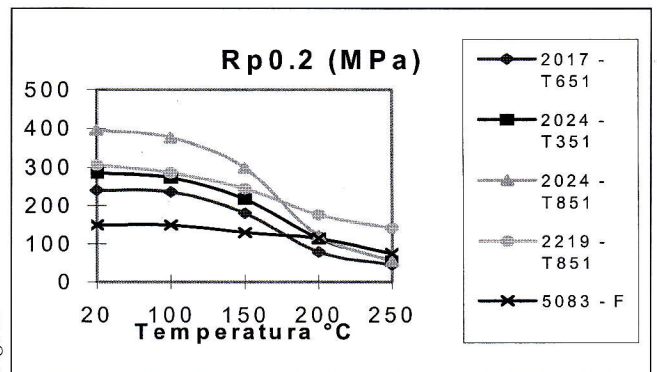


Fig. 13

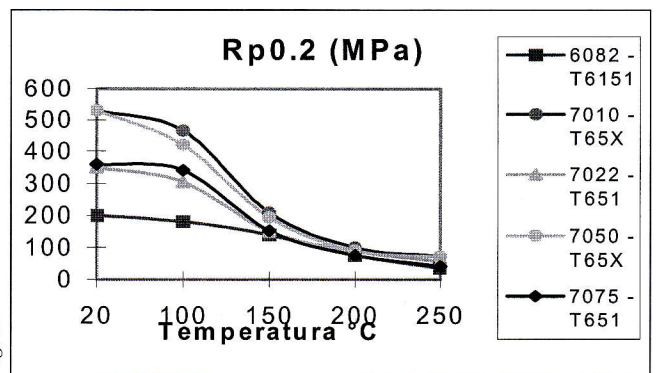


Fig. 14

Stabilità dimensionale

La stabilità dimensionale dopo importanti lavorazioni di macchina è determinata dalle tensioni interne presenti nei blocchi stampi. Le tensioni interne sono prodotte prevalentemente dai trattamenti termici di solubilizzazione e tempra cui i materiali sono stati sottoposti; in generale risultano maggiormente penalizzati i materiali con valori elevati di limite di snervamento. Per limitare l'effetto delle tensioni interne le piastre in leghe da trattamento termico vengono sottoposte a trattamenti di detensione meccanico mediante prestiramento o precompressione.

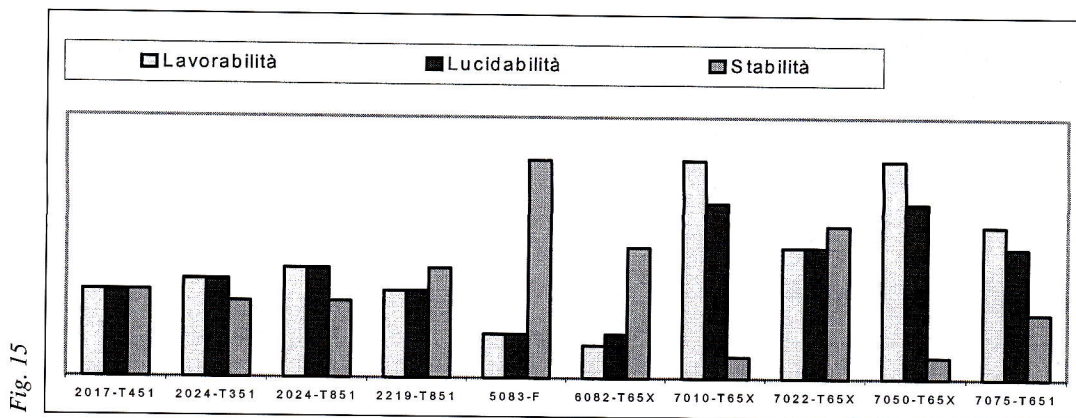


Fig. 15

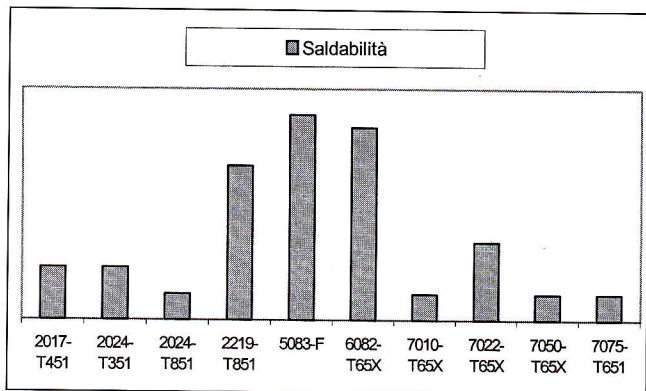


Fig. 16

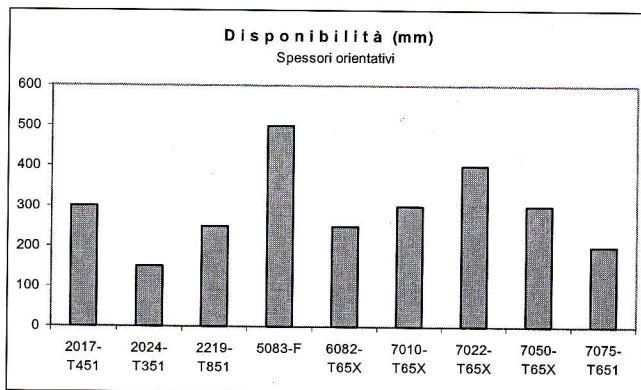


Fig. 18

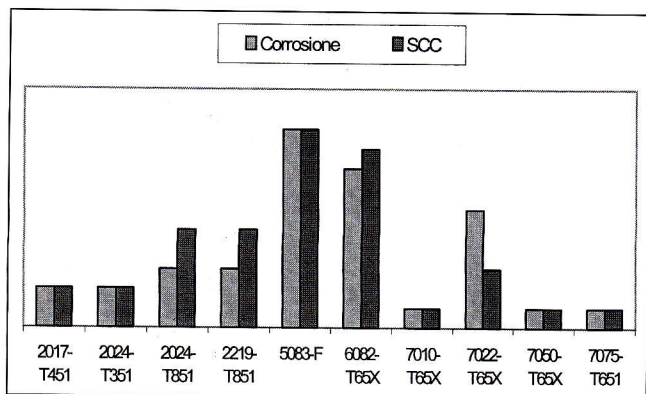


Fig. 17

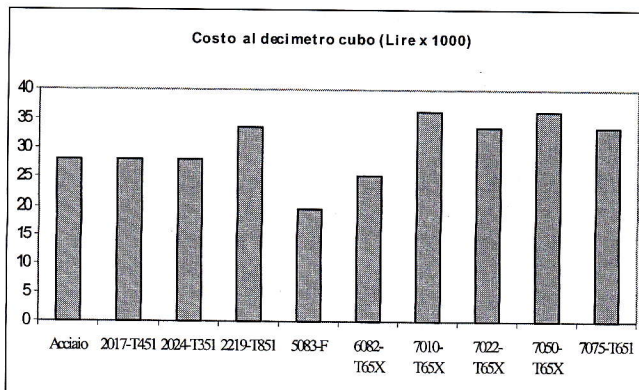


Fig. 19

Il primo processo, interessando l'intera sezione, risulta generalmente più efficace; non può essere applicato agli spessori maggiori per problemi di dimensionamento dei banchi di stiramento.

Il secondo processo è generalmente applicato agli spessori maggiori.

Quando la stabilità dimensionale è un parametro critico occorre valutare attentamente il tipo di materiale e il relativo processo di detensionamento; nei casi più critici potrebbe consigliarsi l'impiego di materiali specialistici (piastre fuse a bassissimo livello di tensioni interne).

Lucidabilità

E' generalmente associabile a valori elevati di durezza, e quindi di resistenza a trazione, ed all'uniformità della durezza su tutto lo spessore del grezzo.

Saldabilità

Tutti i materiali esaminati si prestano all'esecuzione di saldature di riempimento con metodo TIG (GTAW) o MIG (MGAW); per saldature di collegamento o per riporti importanti è consigliabile rivolgersi ai materiali con caratteristiche di saldabilità migliori.

Occorre comunque ricordare che in ogni caso la saldatura per fusione compromette lo stato di trattamento termico dei materiali in condizione -TXXX.

Resistenza a corrosione

E' una caratteristica da tenere in considerazione quando si prevedono lunghi periodi di permanenza in magazzino tra le campagne di utilizzo degli stampi; in questi casi è sempre comunque opportuna una accurata pulizia dell'incisione e l'applicazione di olio protettivo a termine dell'utilizzo. Particolare attenzione va posta al caso di polimeri o elastomeri che durante la fase di formatura sviluppino prodotti a reazione acida o alcalina che potrebbero aggredire il materiale dell'incisione; in questi casi è opportuno orientarsi ai materiali con migliore resistenza a corrosione o, nei casi più critici (per aggressività dei prodotti sviluppati o per lunghe durate degli stampi) occorre prevedere l'applicazione di protezioni superficiali. Tutti i materiali considerati ben si prestano all'applicazione dei trattamenti di protezione superficiale chimici ed elettrochimici caratteristici delle leghe di alluminio.

Resistenza a tensocorrosione (SCC)

E' una caratteristica di interesse limitato per la costruzione di stampi per materie plastiche.

Interessa in generale alcuni casi limite, caratterizzati da incisioni con forti concentratori di tensioni, elevate pressioni di formatura mantenute per tempi significativi, sviluppo di prodotti corrosivi o di acqua. Risultano generalmente penalizzati i materiali con i valori meccanici più elevati.

Disponibilità

Il mercato offre un'ampia disponibilità dal pronto di piastre per blocchi stampo con spessori anche importanti, specialmente per i materiali i cui valori meccanici sono influenzati marginalmente dallo spessore. I produttori sono in generale disponibili a valutare allestimenti speciali per spessori anche molto importanti.

Costo

Nella maggior parte delle applicazioni il costo del materiale è una voce marginale del costo totale di produzione delle parti; ciò vale particolarmente nel caso di incisioni di forma complessa e di elevati numeri di chiusure. Inoltre il costo per unità di volume delle leghe di alluminio per stampi è in generale competitivo col costo per unità di volume dei tradizionali acciai al carbonio o bassolegati per stampi. Nei casi in cui il costo del materiale diviene un elemento si-

gnificativo del costo totale di produzione (o in assoluto) occorre ricordare che i materiali con caratteristiche meccaniche più elevate, di derivazione aeronautica, hanno in generale un costo maggiore rispetto ai materiali di impiego generale.

BIBLIOGRAFIA

UNI EN 485-1	Alluminio e leghe di alluminio – Lamie-re, nastri, piastre – Condizioni tecniche di collaudo e fornitura
UNI EN 515	Alluminio e leghe di alluminio – Semi-lavorati – Designazione degli stati metallurgici
UNI EN 573-3	Alluminio e leghe di alluminio – Com-posizione chimica e forma dei prodotti semilavorati – Composizione chimica
ASTM-B-209	Standard specification for Aluminum and Aluminum Alloy sheet and plate
ASM International	Aluminum and Aluminum Alloys

MEMORIE

A B S T R A C T

CRITERIA FOR THE SELECTION OF MATERIALS FOR ALLUMINIUM ALLOY MOULDING DIES

The scenario of the aluminium base materials for manufacturing of moulding dies for plastics and rubbers is complex and perhaps disconcerting for some end users for the following main reasons:

- Poor knowledge of the aluminium alloys, the relevant temper and the associated properties, compared to the traditional steels.

- The aluminium manufacturers are proposing special materials, tailored for the dies manufacturing, in which some properties of significance for this specific application should be enhanced.

Most materials standardised by the Aluminum Association were developed for applications different from moulding dies (aerospace, shipbuilding, general machinery); the relevant chemistry and tempers were developed to suit these applications. The demand of aluminium for moulding dies brought in some cases to the development of specific materials, with minor modifications in chemistry and temper, in order to improve properties of importance (e.g. hardness) and disregarding other properties (e.g. SCC) not significant for this application.

- The aluminium manufacturers and distributors are using currently commercial designations for the dies materials, in order to protect their market share; consequently it may happen that similar, if not identical materials, are sold under different names.

- Use of "typical" instead of "minimum" properties in the technical data sheets; in general the meaning of "typical" is not defined; this makes practically impossible to compare the properties of similar materials.

In many cases the general approach of presentation of the aluminium alloys for moulding dies is addressing the possibility of substitution of steel more than giving full under-

standing of properties, possibilities and limits of each material, which is particularly important, taking into consideration that no optimum material exists for all the possible applications in the field of dies for rubbers and plastics, while in most cases it is possible to select the optimum material for each individual application.

This paper presents data and concepts referred to some aluminium alloys for moulding dies using the AA designations and referring to materials standardised by the European Standards.

Materials. The following aluminium alloys are considered:

2017 – T451	2024 – T351	2024 – T851
2219 – T851	5083 – F	6082 – T6151
7010 – T65X	7022 – T65X	7050 – T65X
7075 – T651		

These are manufactured in the form of rolled or forged plates; with the exception of 5083-F they are heat treated and supplied in the final heat treatment condition, which includes a stress relieving step by stretching or cold compression. It is believed that most of the products available on the market significantly approximates some of the listed alloys.

Chemistry. The chemical composition limits of the mentioned materials is shown in table 1 for the main alloying elements.

Selection criteria. The optimum aluminium alloy and temper for dies shall be determined for each specific application; among the selection criteria, in terms of functional requirements of the die, the following are considered:

- Process parameters*
- Number of closures and production context*
- Kind of polymer*
- Shape of the part to be moulded*
- Required surface roughness and finish*

3/2000

Materials characterisation. *The properties of aluminium alloys are defined by means of quantitative and qualitative parameters such as:*

- Physical properties (density, thermal conductivity, etc.)
- Mechanical properties at room temperature
- Mechanical properties at elevated temperatures
- Machinability
- Dimensional stability
- Weldability
- Ease to polish
- Corrosion resistance

In general it is not possible for one material to maximise all these parameters; increasing one parameter improves some and lowers other parameters, as shown in table 2, in which also the available thickness and cost of materials has been added for reference.

Relationship between functional requirements and materials properties. *As a first approach the relationship between functional requirements of the dies and materials properties is shown in table 3*

Process parameters. *The following, at least, should be considered:*

- Injection pressure of polymer P_i
- Dies service temperature T_s
- Injection temperature of polymer T_i
- Cooling rate after injection

Injection pressure P_i determines, with the dies cross section on the parting plane, the required closure force.

In general a closure force of about 115 + 120% of the force required to balance the internal pressure is applied.

The material shall bear such force on the parting plane without plastic deformations.

Additionally, for particular forming technologies and parts shapes, and for very light dies, the dies shall be considered as a pressure vessel.

The service temperature of the dies, negligible for steel dies, shall be considered for dies in aluminium, whose mechanical properties could lower already in the service temperature fields typical of some technologies and polymers, and particularly for rubbers.

Injection temperature shall be considered for possible damage of the surfaces facing the injection points, whenever the surface finish of the part is a critical item.

Cooling speed, based on technical or cost reasons, can set forth the need for cooling ducts, depending on the thickness and surface of the part and on the physical properties of the dies material.

Number of closures and production context. *Depending on the required number of closures (prototypes, small or wide series production) the selection call fall on a general purpose, low cost material rather than on sophisticated and more expensive materials derived from the recent aerospace applications.*

The production context, particularly the likelihood of modifications after dies manufacturing, could suggest the selection of weldable materials.

Type of polymer. *The polymer and the shape of the parts determine the forming process parameters.*

The presence of fillers can require particular abrasion properties.

The development during the forming process of aggressive products could require special surface treatments of the dies or the use of materials with good corrosion resistance.

Shape of the part to be moulded. *The shape of the part determines the starting thickness of the plate, the machinability*

and dimensional stability requirements of the dies material, the number and complexity of drawers.

Surface roughness and finish. *The surface finish requirements of the parts require consequent surface finish of the dies; particular polishing and finishing properties can be required for the dies material.*

Materials properties

Physical properties. *Tables 4 and 5 show the typical values of the following physical properties:*

- Density
- Thermal conductivity at room temperature ($(W/m^{\circ}C)$)
- Electrical conductivity (%IACS)
- Linear thermal expansion ($lm/m^{\circ}C$) from room temperature to indicated temperature.

These figures show:

- No significant differences for density and linear thermal expansion
- Some differences are present in thermal conductivity, that in any case is much higher than steel (about 30 for carbon and low alloy steels and about 10 for stainless); this parameter could be considered, e.g., when time savings due to higher cooling rates are of significance.
- No significant differences for electrical conductivity.

Mechanical properties at room temperature. *Figures from 3 to 6 show the minimum acceptance values for:*

- Tensile strength R_m (Mpa)
- Tensile yield strength $R_{p0.2}$ (Mpa)
- Elongation A_5 (%)
- Hardness HBS (BHN)

And refer to plates 100 mm thick; figures for 2024-T851 refer to plates 40 mm thick; figures for 7050-T65X and yield strength for 5083 are typical.

As a reference it can be assumed that the compression yield strength is nearly identical to the tensile yield strength.

These data show a wide spread of mechanical properties; materials typical of aerospace applications reach strengths values typical of carbon steels for moulding dies.

Since in general the materials showing the highest strength values show also the best attitude to be machined and polished, but are affected by:

- High values of internal stresses, and thus lower dimensional stability
- Lower corrosion resistance
- Lower weldability
- Higher cost

With respect to the general purpose materials, it is suggested to address one's selection to these materials only when a real benefit coming from the elevated strength values is expected.

Variation of mechanical properties with plate thickness. *The aluminium alloys whose mechanical properties are obtained by means of thermal, mechanical or thermomechanical treatments are subject to variations in the mechanical properties with the thickness of the plate, depending on the chemistry of the alloy.*

For heat treated materials this is mainly due to the quench sensitivity of the alloy, whose effects are:

- To lower in general the strength of the product, with increasing thickness of the plate
- For a certain thickness, to lower the strength from surface to core of the plate.

Whenever hardness is an important parameter for selection, and whenever mechanical strength or the attitude to polishing are of importance, one should consider the mechanical properties of actual thickness to be used and the consistency of values from surface to core of the plate.

On this subject only a few diagrams showing "typical" data are available; for this reason this paper refers to the requirements of the applicable European specifications, set forth for the minimum acceptance strengths for plates with different thickness; the relevant test pieces are machined from the plate at:

- thickness for plates up to 40 mm
- thickness for heavier sections.

Figures from 7 to 10 show the minimum acceptance values for R_m and $R_{p0.2}$ as a function of the plate thickness, and can be used as a guide to evaluate quench sensitivity of the materials.

The values for 7050-T65X and the yield values for 5083-F are typical.

Variation of mechanical properties with temperature. The mechanical properties of aluminium alloys, as all metals, decay at temperatures above room temperature.

In a first range of temperatures such variation is reversible, and so it is independent from time at temperature and disappears at room temperature.

For materials whose temper is obtained via heat treatment or strain hardening, higher temperatures modify the material temper; in this case the variation is permanent and depends on time at temperature.

Figures 11 to 14 show values of R_m and $R_{p0.2}$ for 100 mm thick plates, after 10000 hours at indicated temperatures.

The values for 2024-T851 refer to 40 mm thick plates.

The values for 6082-T6151, 7022-T651 and 7050-T65X are typical.

The figures show that for most forming technologies for plastics, in which the service temperature of the dies does not exceed 100°C, the decay of the mechanical properties is not so important, and the properties at temperature are similar to those at room temperature.

For particular processes, requiring higher dies temperatures, it is suggested to select special materials (like AA 2219) for elevated temperature applications, or, depending on the strength requirements at temperature, to select general purpose materials not much sensitive to temperature effects.

Other properties. Other properties of interest in the dies manufacturing are considered:

- Machinability
- Dimensional stability
- Attitude to polishing
- Weldability
- Corrosion resistance
- Stress corrosion resistance
- Product availability
- Cost

Machinability. The concept of machinability for aluminium alloys refers to optimum chip formation more than to cutter duration or cutting speed, which are in any case excellent; from this standpoint the materials with higher strength (and lower toughness) show the best machinability (Figure 15).

Dimensional stability. Dimensional stability after important machining is determined by the internal stresses in the rolled or forged plate.

Internal stresses are due mainly to quenching after solution treatment; in general the higher the yield strength level of

the material, the higher the internal stresses (figure 15).

To reduce the effect of the internal stresses the plates undergo before delivery stress relieving treatments through stretching or cold compression.

The first process applies uniformly to the whole cross section, and is therefore most effective; it can not be applied to very heavy sections due to the rating of the available stretchers. The second process in general is applied to the heavier sections. Whenever dimensional stability is a critical topic, it is suggested to carefully evaluate the selected material and relevant stress relieving process; in the most critical cases it is suggested to consider using special materials (cast plate with extra low internal stress level).

Polishing. In general it is associated to high hardness values and to uniformity of hardness from surface to core of the plate (Figure 15).

Weldability. All the materials listed in this paper can be subjected to welding for filling with GTAW or MGAW techniques; for structural welding or important fillings it is recommended to select the materials with better weldability (Figure 16).

It should be remembered that, in any case, fusion welding alters the temper of all materials in -TXXX condition.

Corrosion resistance. This property should be considered whenever long periods between production runs elapse; in such cases it is recommended to carefully clean the dies surface and apply preservative oils at the end of the run.

Particular care should be exercised in case of polymers that develop aggressive agents that could corrode the dies; in these cases it is suggested to select the materials with better corrosion resistance (Figure 17); in special cases surface protections can be considered.

All the materials listed in this paper can be successfully treated using the chemical and electrochemical processes typical of aluminium alloys.

Resistance to SCC. In general this property is not important for moulding dies, except the cases where severe stress raisers, elevated forming pressures and aggressive products are present.

In general the higher the strength of the material, the lower the SCC resistance.

Availability. A wide range of products and thickness is available off the shelf; in general the heaviest sections refer to material with low quench sensitivity (Figure 18).

The manufacturers are available for manufacturing special products with very heavy sections.

Cost. In most cases the cost of the material for the dies is marginal compared to the total production cost of the parts; this is particularly true for parts with complex shape and for mass production.

It should be considered that the cost per unit volume of aluminium alloys is generally competitive with the traditional carbon or low alloy steels.

When the cost of the dies material is not marginal, it should be considered that the materials with the highest strengths, derived from aerospace materials, cost more than the general purpose materials, as shown in Fig. 19.