Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

1. Formatura a freddo

Curvatura a freddo

Tutte le lastre Makrolon®, ad eccezione del Makrolon®AR, possono essere curvate a freddo con un raggio di curvatura minimo corrispondente a 150 volte il loro spessore.

Raggio minimo di curvatura ≥ 150 x spessore lastra

Per raggi più piccoli si consiglia il metodo di termoformatura.

Piegatura a freddo

Le lastre Makrolon® si prestano ad essere piegate a freddo. Per ottenere buoni risultati occorre accertarsi che non vengano superati i seguenti valori:

Spessore della lastra in mm	Raggio di curvatura in mm	Angolo massimo di piegatura in gradi
da 1 a 2,5	2	90
3 e 4	3	90
5 e 6	4	60

Il rilassamento di tensione che si verifica immediatamente dopo l'operazione richiede per le lastre una sovracurvatura di ca. 25°. Le tensioni interne ed esterne raggiungono solo dopo alcuni giorni lo stato di equilibrio, dopo di che le lastre mantengono la forma definitiva.

Tenete presente che, nella piegatura a freddo, nelle zone marginali hanno origine tensioni elevate.

Evitate l'impiego di agenti chimici aggressivi, in particolare nel caso delle lastre curvate o piegate a freddo.

Si raccomanda di impiegare il metodo di piegatura a freddo solo per la lavorazione di lastre sottili.

2. Termoformatura

Film di protezione

Le lastre Makrolon® sono fornite con un film di protezione per impedire il danneggiamento della superficie durante il trasporto e la lavorazione.

Durante la lavorazione meccanica o plastica lasciare sulla lastra il film di protezione. Le radiazioni solari e gli agenti atmosferici possono influenzare le caratteristiche del film di protezione, per cui potrebbe risultare difficile eliminarlo dopo tale esposizione (potrebbero rimanere tracce di adesivo).

Il film di protezione standard utilizzato non è adatto per l'esposizione termica. Non è consigliabile sotto-porre tali prodotti a trasformazione termica. E', quindi, necessario, eliminare il film prima dell'asciugatura, della smussatura a caldo e/o della trasformazione termica.

Per la lavorazione delle lastre con film di protezione abbiamo a disposizione alcuni tipi particolari di film non stampati (Produzione speciale).

Preessiccamento

Benché le lastre Makrolon® assorbano solo una quantità minima di umidità dall'ambiente esterno, si consiglia ugualmente di sottoporle ad essiccamento prima della formatura. Senza questa precauzione, durante il riscaldamento si verificherebbe una formazione di bollicine che pregiudicherebbero l'estetica dell'articolo finito.

Bayer Sheet Europe GmbH
Otto-Hesse-Straße 19/T9, 64293 Darmstadt, Germania
Tél. +49 6151 1303-0
Fax +49 6151 1303-500
www.bayersheeteurope.com
sales@bayersheeteurope.com
MF 0138 i

Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

Per garantire un efficace preessiccamento ad una temperatura di 120 - 125 °C si consigliano i forni a circolazione d'aria; la durata dell'operazione varia in rapporto allo spessore delle lastre.

Spessore della lastra (mm)	Tempo di essiccamento in h a 125 °C
1	1,5
2	4
3	7
4	12
5	18
2	22
8	30

Dopo la rimozione del film protettivo le lastre possono essere introdotte nel forno; è possibile anche appenderle o porle su un supporto. Accertatevi che la distanza fra le lastre sia di 20 - 30 mm, in modo che l'aria possa circolare liberamente.

Per risparmiare energia e ridurre la durata del riscaldamento nella pressa di termoformatura, dopo il preessiccamento le lastre dovrebbero restare nel forno in attesa della lavorazione. Le lastre raffreddate a temperatura ambiente devono essere sottoposte alla successiva lavorazione al massimo entro 10 ore, in funzione delle condizioni ambientali; in caso contrario è necessario ripetere l'operazione.

Tagliando le lastre su misura è necessario tener conto del fatto che quando il materiale viene riscaldato la prima volta al di sopra della temperatura di transizione vetrosa (145 °C) si verifica un ritiro, che è poi definitivo.

Le entità del ritiro vanno da un massimo del 6% per le lastre di spessore fino a 3 mm, ad un massimo del 3% per le lastre di spessore più elevato.

Prima della lavorazione le lastre vanno accuratamente pulite con un detergente antistatico o con aria compressa ionizzata, per evitare la formazione di difetti in superficie, come occlusioni di particelle di polvere nell'articolo finito.

Piegatura a caldo

La piegatura a caldo è un procedimento di lavorazione relativamente semplice per produrre particolari piegati su un unico asse. È sufficiente riscaldare localmente le lastre Makrolon® ad una temperatura di 150 - 160 °C, per cui in linea generale si può rinunciare ad un preessiccamento.

La lastra Makrolon® viene riscaldata linearmente con lampade a raggi infrarossi o con fili incandescenti (cfr. fig.1). Appena si è raggiunta la temperatura voluta, la lastra viene allontanata dagli elementi riscaldanti, piegata, inserita nell'utensile e fissata. Tenetela fissata nella forma voluta fino alla solidificazione del materiale.

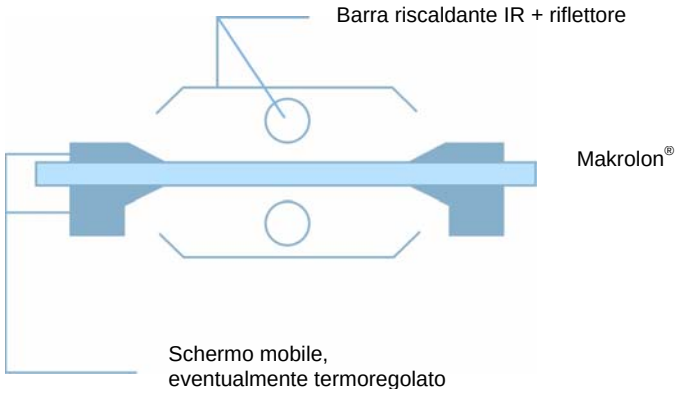

Fig. 1: Profilatura a caldo

Bayer Sheet Europe GmbH
Otto-Hesse-Straße 19/T9, 64293 Darmstadt, Germania
Tél. +49 6151 1303-0
Fax +49 6151 1303-500
www.bayersheeteurope.com
sales@bayersheeteurope.com

Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

Effettuando il riscaldamento da un solo lato, occorre girare ripetutamente la lastra al fine di riscaldarla in modo uniforme dai due lati. Con le lastre di spessore superiore a 3 mm nonché nella produzione di serie numerose consigliamo di riscaldare contemporaneamente i due lati utilizzando elementi riscaldanti "a sandwich". Regolando con l'ausilio di uno schermo mobile (cfr. fig. 6) la larghezza del riscaldamento, è possibile ottenere diversi raggi di curvatura, senza scendere però sotto un valore minimo, equivalente al triplo dello spessore della lastra.

A causa del riscaldamento limitato ad una zona ristretta, nel particolare finito si produce uno stato di tensionamento; di conseguenza è necessaria molta cautela con gli agenti chimici, per evitare fessurazione.

Riscaldamento del Makrolon®
Per produrre particolari formati privi di difetti è necessario riscaldare le lastre in modo controllato e uniforme ad una temperatura compresa fra 175 e 205 °C.

La massima precisione di forma si ottiene operando nell'intervallo superiore di temperatura. Poiché la temperatura di deformazione è molto elevata e le lastre si raffreddano rapidamente, è preferibile riscaldare direttamente le lastre sulla pressa e non in forni separati, come si verifica spesso con altri termoplastici.

Per il riscaldamento del Makrolon® raccomandiamo i sistemi a raggi infrarossi, che si riscaldano velocemente, applicati possibilmente su ambo i lati delle lastre per assicurare un riscaldamento del materiale più veloce ed uniforme. Ciò permette di ridurre la durata dei cicli operativi e migliorare la redditività. La durata del riscaldamento aumenta, con proporzionalità pressoché lineare, con lo spessore delle lastre e va determinata empiricamente sulla pressa di formatura.
Per evitare una considerevole perdita di calore in corrispondenza dei bordi durante il riscaldamento, o un raffreddamento irregolare, che potrebbero causare tensionamenti o deformazioni, consigliamo la termoregolazione die dispositivi di fissaggio. Per rendere più regolare l'andamento dello spessore, le lastre possono essere imbutite con prestiramento meccanico.

Raffreddamento dell'articolo finito
Le lastre Makrolon® si raffreddano rapidamente, per cui la lavorazione deve procedere speditamente. Nello stesso tempo tuttavia, grazie all'elevata resistenza alla deformazione termica, si hanno cicli di raffreddamento più brevi. Il particolare stampato può essere estratto dallo stampo non appena è in grado di mantenere la sua forma (intorno a 135 °C).

Formatura a caldo
La formatura a caldo è idonea per la produzione di particolari di forma semplice, a piegatura monoassiale e forniti di grandi raggi di curvatura. Le lastre, riscaldate alla giusta temperatura in un forno a circolazione d'aria, vengono trasferite rapidamente in uno stampo termoregolato a 80 - 100 °C.

Il peso proprio delle lastre o una leggera pressione manuale esercitata usando i guanti o un panno è sufficiente per la loro formatura sullo stampo positivo.

Successivamente le lastre vanno raffreddate all'aria, tenendole al riparo da correnti d'aria, che potrebbero causare tensionamenti e deformazioni nell'articolo finito.

Si consiglia si rimuovere il film protettivo prima di introdurre la lastra nel forno.

Bayer Sheet Europe GmbH
Otto-Hesse-Straße 19/T9, 64293 Darmstadt, Germania
Tél. +49 6151 1303-0
Fax +49 6151 1303-500
www.bayersheeteurope.com
sales@bayersheeteurope.com

Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

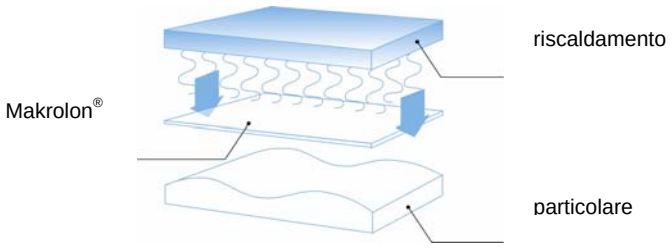

Fig. 2: Termoformatura con stampo positivo

Imbutitura

Stampi

Per produrre serie numerose e/o ottenere superfici di qualità ottimale si devono usare stampi termoregolati (120 - 130 °C) in acciaio o alluminio con superfici satinate. Un angolo di 4 - 6° rispetto allo stampo facilita l'estrazione.

Nella progettazione degli stampi di termoformatura occorre calcolare un aumento delle quote dallo 0,8 all'1% per compensare il ritiro. E' necessario prevedere fori di sfiato in numero sufficiente e correttamente posizionati, con diametri non superiori a 0,5 - 0,8 mm, per evitare impronte sul particolare.

Per migliorare il degasaggio è possibile allargare il foro verso l'esterno usando un trapano più grande (cfr. fig. 3). Inoltre sono a disposizione speciali materiali, che permettono di ottenere stampi per formatura porosi senza dover praticare fori di sfiato.

I raggi di curvatura devono essere dimensionati possibilmente con larghezza e corrispondere come minimo allo spessore di parete delle lastre Makrolon®, al fine di assicurare una maggiore rigidità ed evitare assottigliamenti ed raggrinzamenti.

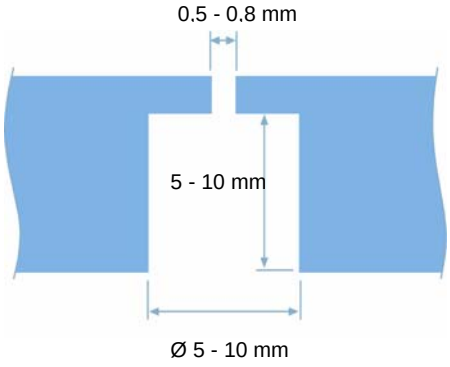

Fig. 3: Proposta per l'esecuzione di fori di sflato nell'imbutitura

Stampi negativi e positivi

La scelta di uno stampo positivo o negativo dipende dalle singole applicazioni. Per ottenere superfici di migliore qualità sul lato esterno del particolare dovreste usare stampi negativi, che sono in grado di riprodurre meglio i dettagli (cfr. fig. 4).

Bayer Sheet Europe GmbH
Otto-Hesse-Straße 19/T9, 64293 Darmstadt, Germania
Tél. +49 6151 1303-0
Fax +49 6151 1303-500
www.bayersheeteurope.com
sales@bayersheeteurope.com

Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

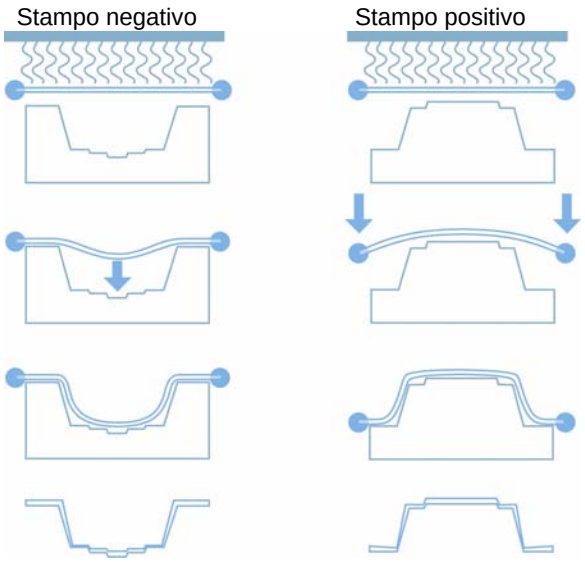

Fig. 4

Soffiaggio o imbutitura senza controstampo
Questa tecnica viene usata per lo stampaggio di cupole. Nel soffiaggio senza controstampo si utilizza aria compressa, nell'imbutitura senza controstampo si lavora sotto vuoto. Per ottenere articoli privi di difetti occorre riscaldare le lastre in modo uniforme. Evitare correnti d'aria sul posto di lavoro, perché potrebbero provocare un riscaldamento non uniforme. Ad una temperatura del si deforma più e può essere estratto senza difficoltà.

Altre tecnologie
Gli altri metodi di termoformatura riportati qui di seguito sono combinazioni dei procedimenti descritti.

Formatura ad alta pressione
In uno stampo per formatura chiuso la pressione atmosferica agente sulla lastra rammollita viene aumentata con aria compressa, con il risultato di ottenere una precisa riproduzione dei dettagli e contorni nitidi.

Formatura "twin sheet"
Due lastre riscaldate vengono inserite fra due stampi negativi. Con l'ausilio di aria compressa si realizzano così corpi cavi, per cui i particolari finiti presentano elevata rigidità strutturale abbinata a basso peso. Questo metodo permette di stampare e saldare contemporaneamente due lastre.

Distensione
Il Makrolon® va lavorato sempre per quanto possibile in condizioni ottimali, per evitare l'insorgenza di elevate tensioni interne che richiederebbero un successivo trattamento termico per il loro abbattimento.

Distendere, o condizionare, significa riscaldare gli articoli, mantenerli per un certo tempo ad una determinata temperatura e infine raffreddarli lentamente.Effettuando questa operazione in un forno è possibile abbattere in gran parte le tensioni interne. Le lastre vengono riscaldate uniformemente ad una temperatura di 120 - 130 °C, per la durata complessiva di un'ora per ogni 3 mm di spessore. È importante raffreddare successivamente le lastre in modo temperatura, al meglio nel forno stesso.

Clausola di responsabilità del prodotto: Le informazioni qui riportate nonché la nostra consulenza tecnico-applicativa fornita a parole, per iscritto e in base a collaudi avvengono secondo scienza e coscienza, pur non avendo valore vincolante anche e soprattutto in relazione ad eventuali diritti di protezione nei confronti di terzi. La consulenza non dispensa l'acquirente dall'eseguire un accertamento personale delle nostre note informative attuali (in particolar modo per quanto riguarda i nostri opuscoli sui dati di sicurezza e sui dati tecnici) e dei nostri prodotti in merito alla loro idoneità per gli scopi e i procedimenti perseguiti. L'applicazione, l'impiego e la lavorazione dei nostri prodotti nonché dei prodotti realizzati dall´acquirente in base alla nostra consulenza tecnico-applicativa non rientrano tra le nostre possibilità di controllo, vale a dire che ne risponde solo ed esclusivamente l'acquirente stesso. La vendita dei nostri prodotti avviene in base alle nostre attuali condizioni generali di vendita e di consegna.
Makrolon® e una marca di Bayer AG.

Manuale tecnico, Gennaio 2005

Makrolon®
Lastra compatta di policarbonato

Lavorazione del semilavorato

Consigli per la termoformatura

Problemi	Cause possibili	Rimedi	Piegatura a caldo	Stiro	Imbutitura	Soffiaggio/ imbutitura senza contro-stampo
Bolle nella lastra	umidità	preessiccamento	•	•	•	•
	riscaldamento eccessivo	ridurre il riscaldamento	•		•	•
Particolari configurati male	lastra troppo calda	ridurre il riscaldamento			•	•
	stampo troppo freddo	aumentare la temperatura dello stampo			•	
	particolare estratto con ritardo	accorciare il ciclo di raffreddamento			•	
	vuoto troppo spinto	limitare il vuoto			•	
	spigoli appuntiti	smussare gli spigoli			•	
	superficie della lastra troppo piccola	usare lastre di maggiori dimensioni			•	
Ondulazioni	riscaldamento non uniforme	controllare la zone calde e le zone schermate			•	
	distanza fra le forme troppo piccola	distanza min. = profondità x 2			•	
	vuoto troppo spinto	limitare il vuoto			•	
	superficie della lastra troppo grande	distanza telaio-stampo < 50 mm			•	
Dettagli incompleti o riprodotti male	vuoto insufficiente	controllare la tenuta o			•	
		aggiungere fori di sfiato			•	
	temperatura della lastra troppo bassa	intensificare il riscaldamento			•	
Il particolare aderisce allo stampo	stampo troppo caldo	abbassare la temperatura dello stampo			•	
	particolare sformato con ritardo	estrarre il particolare più velocemente			•	
	conicità di sformatura troppo piccola	conicità di sformatura > 4° – 6°			•	
Impronte	superficie dello stampo troppo liscia	opacizzare leggermente lo stampo			•	
	temperatura della lastra troppo elevata	ridurre la durata del riscaldamento	•	•		
	fori di sfiato posizionati non correttamente	rivedere le posizioni dei fori di sfiato			•	
Difetti superficiali	polvere sulla lastra o sullo stampo	pulire con aria compressa ionizzata		•	•	
	fori di sfiato posizionati non correttamente	rivedere le posizioni dei fori di sfiato			•	
Articoli finiti irregolari	stampo/telaio troppo freddo	aumentare il preriscaldamento			•	
	riscaldamento/raffreddamento	controllare infiltrazioni d'aria/il riscaldamento	•	•	•	•
	sformatura ritardata	estrarre il particolare più velocemente			•	

Clausola di responsabilità del prodotto: Le informazioni qui riportate nonché la nostra consulenza tecnico-applicativa fornita a parole, per iscritto e in base a collaudi avvengono secondo scienza e coscienza, pur non avendo valore vincolante anche e soprattutto in relazione ad eventuali diritti di protezione nei confronti di terzi. La consulenza non dispensa l'acquirente dall'eseguire un accertamento personale delle nostre note informative attuali (in particolar modo per quanto riguarda i nostri opuscoli sui dati di sicurezza e sui dati tecnici) e dei nostri prodotti in merito alla loro idoneità per gli scopi e i procedimenti perseguiti. L'applicazione, l'impiego e la lavorazione dei nostri prodotti nonché dei prodotti realizzati dall´acquirente in base alla nostra consulenza tecnico-applicativa non rientrano tra le nostre possibilità di controllo, vale a dire che ne risponde solo ed esclusivamente l'acquirente stesso. La vendita dei nostri prodotti avviene in base alle nostre attuali condizioni generali di vendita e di consegna.
Makrolon® e una marca di Bayer AG.