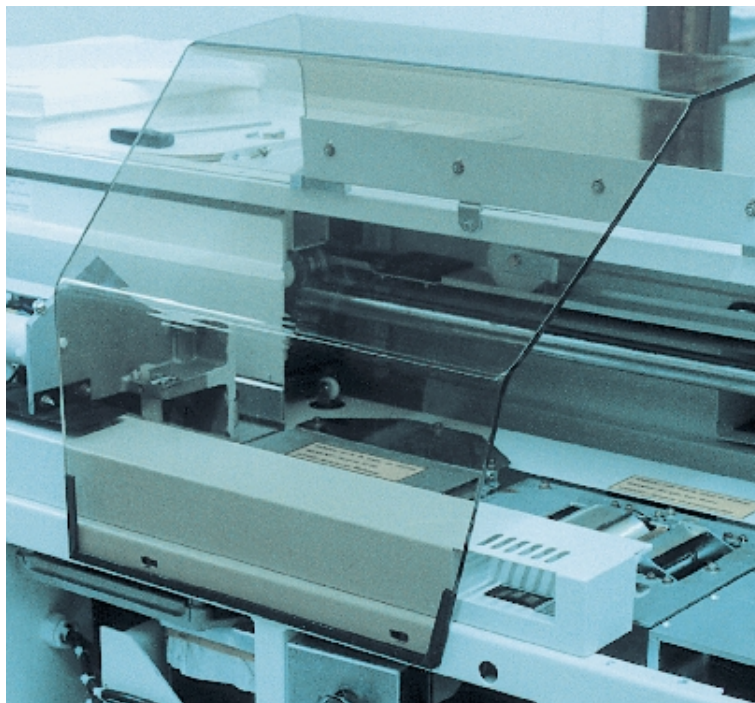


Profitez des avantages techniques
du Makrolon® mono.

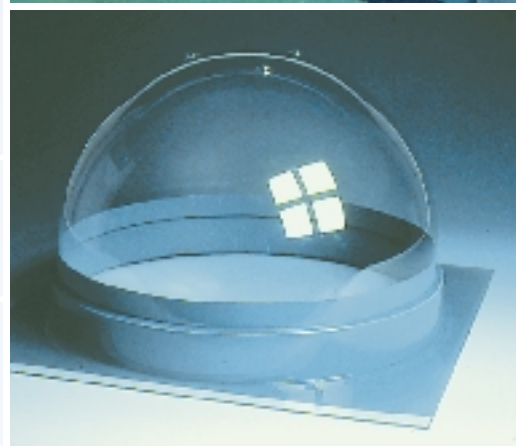


 **makrolon®**
mono

Makrolon® mono : un matériau performant et facile à mettre en œuvre.

Nos plaques compactes: Makrolon® mono

	Makrolon® mono	Makrolon® mono longlife	Makrolon® mono dura
Logo			
Les atouts :	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité et diversité de mise en œuvre • Résistance extrêmement élevée à la rupture • Matériau très transparent 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité de mise en œuvre • Résistance extrêmement élevée à la rupture • Matériau très transparent • Grande stabilité aux intempéries 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité et diversité de mise en œuvre • Résistance extrêmement élevée à la rupture • Matériau très transparent • Grande résistance à la rayure • Très grande stabilité aux agents chimiques
Couleurs :	incolor blanc translucide	incolor bronze blanc translucide gris vert bleu	incolor bronze
Produits spéciaux :	ignifuge (version incolore)		
Versions spéciales Surfaces	AR (mat sur une seule face, thermoformable, en version incolore)	Surfaces structurées	

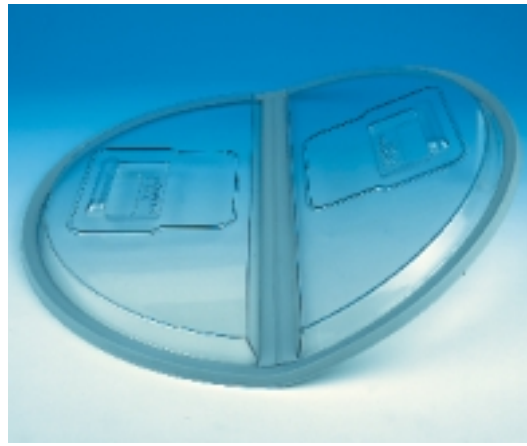


La gamme Makrolon® mono comprend des plaques compactes en polycarbonate dont la grande transparence et la surface lisse en font un matériau intéressant pour de très nombreuses applications. Le Makrolon® mono affi-

che une résilience extrêmement élevée garantie jusqu'à -100 °C.

Sommaire

1. Usinage		
1.1	Généralités	4
1.2	Sciage	4
1.3	Découpage et poinçonnage	5
1.4	Perçage	6
1.5	Fraisage	6
1.6	Découpage au laser	6
2. Formage		
2.1	Formage à froid	7
	Cintrage à froid	7
	Pliage à froid	7
2.2	Formage à chaud	7
	Préséchage	7
	Pliage à chaud	8
	Formage sur moule positif	8
	Thermoformage	9
	Recuit	10
	Conseils pour le formage à chaud	11
3. Collage & fixation		
3.1	Collage par colles solvantées	12
3.2	Collage par adhésifs	13
3.3	Collage par ruban adhésif	13
3.4	Soudage	13
3.5	Fixation mécanique	14
4. Finissage		
4.1	Ponçage	16
4.2	Polissage	16
4.3	Décoration	16
5. Nettoyage		17
6. Propriétés du Makrolon® mono		18
7. Fournisseurs		19



1. Usinage

Fig. 1 : scie à ruban

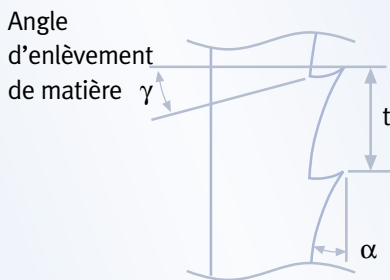
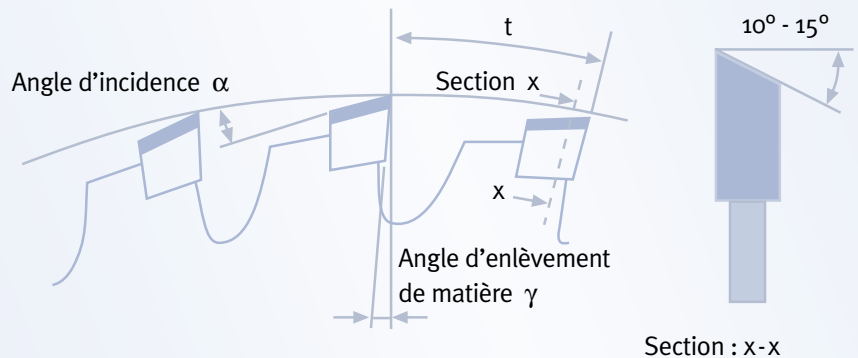


Fig. 2 : scie circulaire



1.1 Généralités

Outillage

Vous pouvez usiner les plaques Makrolon® mono avec l'outillage couramment utilisé pour le travail du bois et du métal. Nous vous conseillons d'opter pour des outils à plaquettes en carbure de tungstène, au tranchant parfaitement affûté et présentant la géométrie correcte.

Refroidissement

Dans des conditions normales d'usinage, le refroidissement n'est pas nécessaire. Cependant, en cas de surchauffe localisée, notamment lors du perçage d'épaisseurs importantes, on pourra refroidir à l'eau ou à l'air comprimé exempt d'huile.

Ne jamais utiliser d'émulsions huileuses ou d'huiles de coupe pour l'usinage du Makrolon® mono. Ces produits contiennent souvent des additifs incompatibles avec le matériau et peuvent entraîner une fissuration sous contrainte.

Précision dimensionnelle

Le coefficient de dilatation thermique linéaire du Makrolon® mono (0,065 mm/m °C) est considérablement supérieur à celui du métal ou du verre. Les contrôles dimensionnels doivent donc toujours être faits à température ambiante.

Attention : lorsque le matériau est chauffé au-delà de la température de transition vitreuse (env. 145 °C), il se produit un retrait d'environ 3 à 6 %, qui est fonction de l'épaisseur du matériau.

Feuille de protection

Les plaques Makrolon® mono sont livrées avec une feuille de protection en polyéthylène qui évite la détérioration des surfaces lisses pendant la manipulation et l'usinage.

Il est conseillé de laisser la feuille de protection pendant l'usinage et de la retirer dès que possible après l'installation de la plaque. L'exposition au soleil et aux intempéries peut en effet

affecter les propriétés de la feuille qui est alors très difficile à enlever.

Traçage

Le traçage de trous à percer, lignes de découpage, etc. doit toujours se faire sur la feuille de protection. Si nécessaire, vous pouvez procéder au marquage directement sur la plaque avec un crayon à mine tendre ou un stylo-feutre. Ne jamais utiliser de pointes à tracer car elles entaillent la surface et peuvent entraîner à cet endroit une rupture de la plaque si elle est soumise à une forte charge.

1.2 Sciage

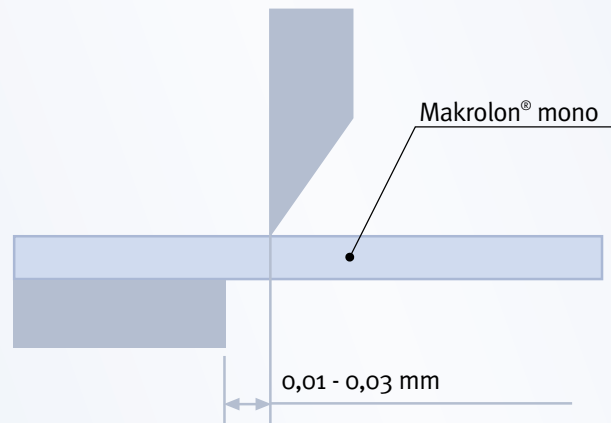
Scies à main

Vous pouvez découper les plaques Makrolon® mono avec des scies courantes à pas de denture fin.

Scies circulaires

La scie circulaire est l'outil le mieux adapté pour découper les plaques Makrolon® mono. L'expérience montre

Fig. 3 : pour obtenir des coupes nettes, le jeu entre la lame et le banc doit être de 0,01 à 0,03 mm



que c'est avec des scies circulaires à plaquettes en carbure de tungstène qu'on obtient les coupes les plus nettes. Le pas de denture varie en fonction de l'épaisseur de la plaque : il est très petit pour les plaques minces et grand pour les plaques épaisses. Assurez-vous que la table est exempte de copeaux et d'impuretés, car ils peuvent endommager la plaque à travers la feuille de protection. Pour découper les plaques de moins de 1,5 mm d'épaisseur, posez-les sur un support plus épais ou utilisez des cisailles.

Scies à ruban

Les scies à ruban sont idéales pour réaliser des coupes curvilignes, comme celles des pièces formées, ou pour des formes irrégulières. Pour obtenir une coupe nette, il est important que la plaque repose sur un support stable. Pour découper des plaques épaisses, il faut utiliser des scies à ruban à pas de denture plus grand. Les scies circulaires et les fraises permettent d'obtenir des coupes de meilleure qualité que les scies à ruban.

Problèmes de sciage :

Fonte du bord de coupe :

- Vérifier que l'outil est correctement affûté.
- Vérifier la vitesse de coupe et, éventuellement, la réduire. Contrôler la vitesse d'avance et, éventuellement, la réduire.
- Il peut être nécessaire d'utiliser un système de refroidissement.

Éclats sur le bord de coupe :

- Vérifier que l'outil est correctement affûté.
- Vérifier la géométrie de l'outil.
- Améliorer le soutien (utiliser éventuellement une cale).

	Scie à ruban	Scie circulaire
Angle d'incidence α	20 - 40°	10 - 30°
Angle d'enlèvement de matière γ	0 - 5°	5 - 15°
Vitesse de coupe v (m/s)	10 - 17	17 - 50
Pas de denture t (mm)	1,5 - 3,5	2 - 10

(cf. figures 1 et 2)

1.3 Découpage et poinçonnage

Le découpage et le poinçonnage donnent de bons résultats jusqu'à 3 mm d'épaisseur. Avec des plaques plus épaisses, la coupe est moins nette et le risque de fissuration augmente. On obtient de bons résultats avec des lames très tranchantes à angle de coupe de 45 ° maximum et en respectant entre la lame et le banc un jeu de 0,01 à 0,03 mm (cf. fig. 3). Si vous souhaitez obtenir des coupes lisses, il est préférable de scier ou de fraiser les Makrolon® mono à partir de 1,5 mm d'épaisseur.

Pour ce qui est du poinçonnage de trous à très faible tolérance, dans le cas où l'usinage est suivi d'un traitement thermique à une température supérieure à 145 °C, il faut prévoir une tolérance positive pour compenser le retrait, c'est-à-dire que le trou doit être surdimensionné d'environ 5 %. Le retrait diminue avec l'augmentation de l'épaisseur de la plaque et du diamètre du trou. On obtient de bons résultats avec des lames à affûtage symétrique.

Fig. 4 : les types de lames conseillés pour le poinçonnage varient en fonction de l'épaisseur des plaques

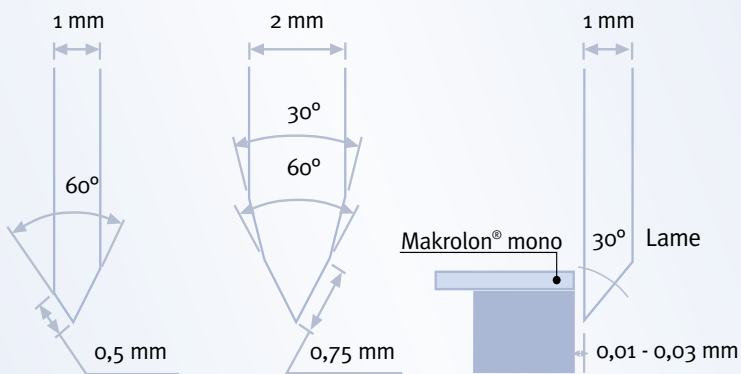
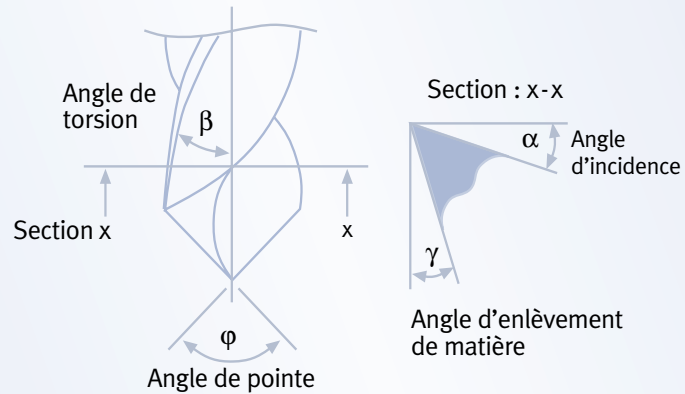


Fig. 5 : forets pour plaques de Makrolon® mono



Pour poinçonner ou découper des plaques Makrolon® mono de plus de 1,5 mm d'épaisseur, il est préférable d'utiliser des lames asymétriques. Pour obtenir des angles droits, utilisez des lames asymétriques avec un angle de coupe de 30°. La netteté des coupes exige un support ne se déformant pas et bien aligné par rapport à l'outil de coupe. Cette plaque support peut être réalisée en polyamide ou en polyéthylène à haute densité (PEHD).

1.4 Perçage

Les forets à métaux courants, s'ils sont bien affûtés, conviennent parfaitement pour le Makrolon® mono. En général, un refroidissement n'est pas nécessaire. Pour le perçage de trous profonds, il est recommandé de refroidir à l'eau ou à l'air comprimé et de dégager fréquemment le foret pour améliorer l'évacuation de la chaleur et des copeaux. N'utilisez jamais d'émulsions huile-eau ou d'huiles de coupe. Pour le perçage de trous de diamètre impor-

tant, vous pouvez utiliser des scies courantes (p. ex. fraises trépaneuses ou scies rotatives à lames amovibles).

Les trous doivent être lisses et, dans la mesure du possible, ne présenter ni entaille ni rugosité afin de garantir une fixation fiable de la plaque.

Angles conseillés pour les forets :

Angle d'incidence α	5 - 15°
Angle d'enlèvement de matière γ	0 - 5°
Angle de pointe ϕ	110 - 130°
Angle de torsion β	30°
Vitesse de coupe	15 - 30 m/min
Avance	0,1 - 0,3 mm/tr

(zie afb. 5)

1.5 Fraisage

Les plaques Makrolon® mono peuvent être facilement usinées sur des fraiseuses. Le choix de la fraise est fonction de l'usinage souhaité. Utilisez des

outils bien affûtés et assurant une évacuation efficace des copeaux.

Angles conseillés pour les fraises :

Angle d'incidence α	5 - 10°
Angle d'enlèvement de matière γ	0 - 10°
Vitesse de coupe	100 - 500 m/min
Avance	0,1 - 0,5 mm/tr

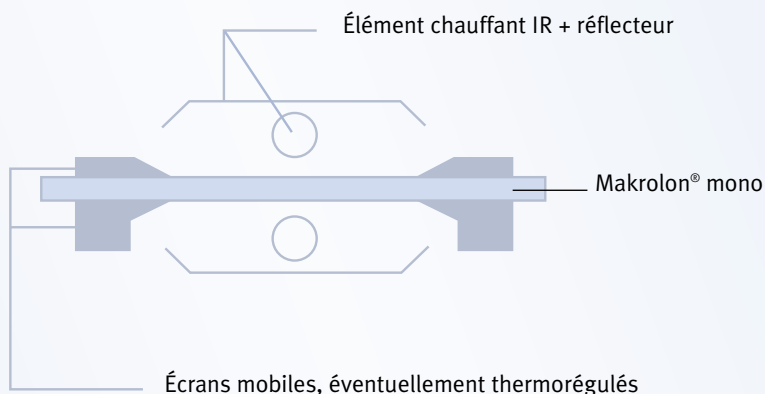
1.6 Découpage au laser

Le découpage thermique des plaques Makrolon® mono, avec ou sans leurs feuilles de protection, peut se faire avec des lasers de différents types. Cette méthode est idéale pour réaliser des contours complexes. Il est recommandé de présécher les plaques pour obtenir des bords de coupe sans bulles d'air. Il est préférable de procéder à un recuit après le découpage. Le découpage au laser de plaques Makrolon® mono de plus de 2 mm d'épaisseur entraîne une décoloration des bords de coupe.

2. Formage

Les plaques Makrolon® mono dura ne peuvent être utilisées que sous forme plane !

Fig. 6 : pliage à chaud



2.1 Formage à froid

Cintrage à froid

Toutes les plaques Makrolon® mono peuvent être cintrées à froid, à l'exception du Makrolon® mono dura, avec un rayon de courbure minimum de 150 fois l'épaisseur de la plaque.

Rayon minimum $\geq 150 \times$ épaisseur de la plaque

Le formage à chaud est conseillé en cas de rayon inférieur.

Pliage à froid

Les plaques Makrolon® mono peuvent être pliées à froid. Pour obtenir de bons résultats, il convient de ne pas dépasser les valeurs approximatives suivantes :

Épaisseur de plaque en mm	Rayon de courbure en mm	Angle de pliage max. en °
1 tot 2,5	2	90
3 en 4	3	90
5 en 6	4	60

La relaxation qui se produit immédiatement après le pliage exige d'augmenter le pli de 25 °. Les tensions intérieure et extérieure ne s'équilibrent qu'au bout de quelques jours et ce n'est qu'alors que les pièces ont leur forme définitive.

Le pliage à froid entraîne des tensions importantes sur les rebords du matériau.

Évitez de mettre les pièces pliées ou cintrées à froid en contact avec des produits chimiques agressifs.

Le pliage à froid ne convient qu'aux plaques Makrolon® mono de faible épaisseur.

2.2 Formage à chaud

Préséchage

Malgré leur faible taux d'absorption d'humidité, il est préférable de faire subir aux plaques Makrolon® mono un séchage complet avant toute opération

de formage à chaud. Un préséchage insuffisant entraîne la formation de bulles, ce qui altère la qualité optique et esthétique de la pièce finie.

Pour assurer un préséchage complet, il est conseillé d'utiliser une étuve à circulation d'air chaud à 120-125 °C. Le temps de séchage est fonction de l'épaisseur des plaques.

Épaisseur de la plaque (mm)	Temps de séchage à 125 °C (h)
1	1,5
2	4
3	7
4	12
5	18
6	22
8	30

Après avoir enlevé les feuilles de protection, vous pouvez disposer les plaques horizontalement ou verticalement dans des râteliers ou les suspendre dans l'étuve, en respectant entre les plaques un écart suffisant (20-30

Fig. 7 : formage à chaud avec moule positif

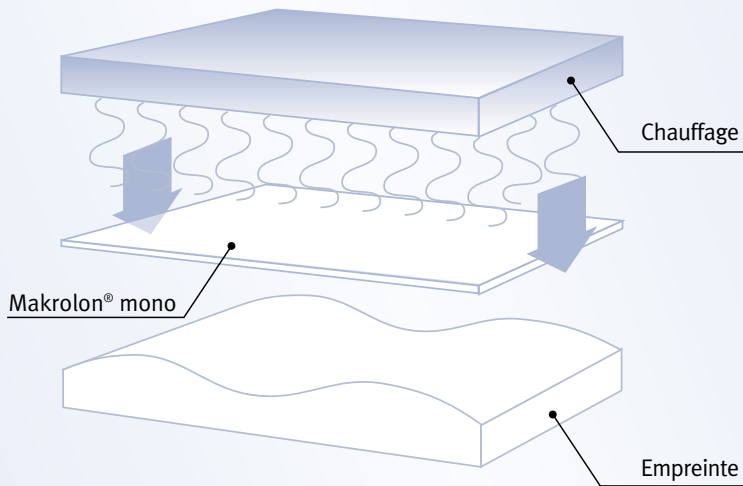
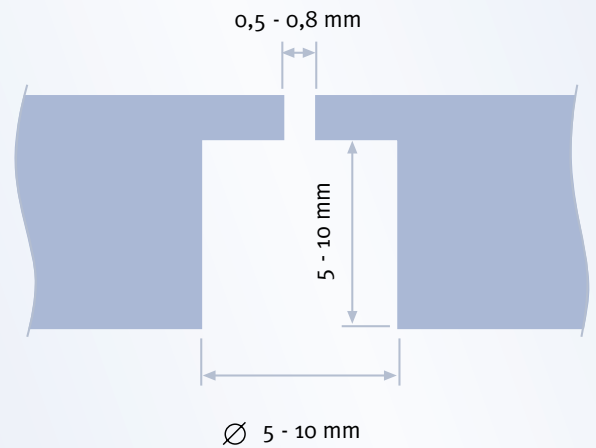


Fig. 8 : croquis d'évent pour le thermoformage



mm) pour que l'air puisse circuler librement.

Afin de réduire le temps de chauffage et la consommation d'énergie de la machine de formage à chaud, il est préférable de laisser les plaques dans l'étuve jusqu'à leur transfert dans la machine. Les plaques préséchées refroidies à température ambiante doivent être transformées au plus tard dans les dix heures à compter de leur sortie de l'étuve (en fonction des conditions ambiantes). Sinon, un nouveau séchage est nécessaire.

Lors du découpage des plaques en vue du thermoformage, il faut considérer que le matériau subit un retrait quand il est porté pour la première fois à une température supérieure à la température de transition vitreuse de 145 °C. Ce retrait ne se reproduit plus par la suite.

Le retrait maximum est de 6 % pour les plaques d'épaisseur de 3 mm max. et de 3 % pour les plaques d'épaisseur supérieure.

Avant le formage à chaud, nettoyez soigneusement les plaques Makrolon® mono avec un agent de nettoyage anti-statique ou à l'air comprimé ionisé afin d'éviter les défauts de surface, comme les inclusions de salissures et de poussières dans la pièce finie (cf. partie 5 « Nettoyage »).

Pliage à chaud

Le pliage à chaud est une technique de formage assez simple qui permet de réaliser des pliages monoaxiaux. Le préséchage n'est généralement pas nécessaire, car il suffit de chauffer la plaque Makrolon® mono à une température de 150-160 °C à l'emplacement du pli.

La plaque est chauffée localement à l'aide de lampes IR ou de fils de chauffage (cf. fig. 6). Dès que l'emplacement du pli est à la bonne température, retirez la plaque de l'élément chauffant, pliez-la, mettez-la dans le moule et fixez-la. La force de formage doit être maintenue jusqu'à la solidification du matériau.

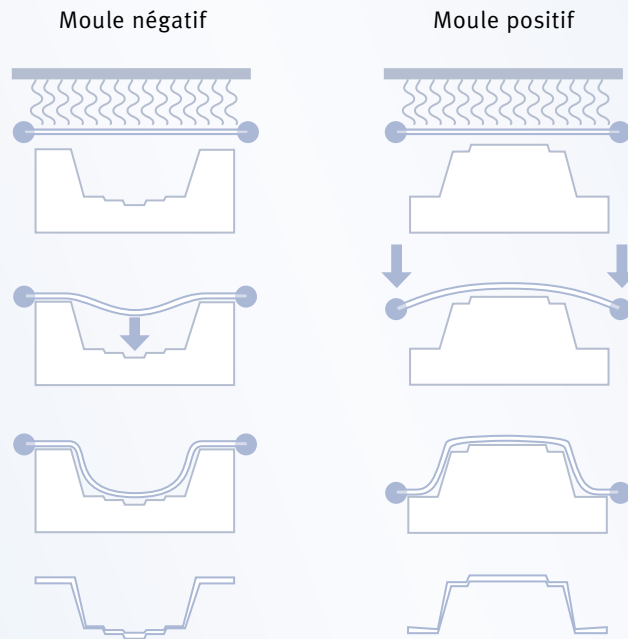
Lors du chauffage d'une seule face, il faut retourner la plaque plusieurs fois pour obtenir une température uniforme sur les deux faces. Les appareils de type « sandwich », qui chauffent en même temps les deux faces, sont recommandés pour les plaques de plus de 3 mm d'épaisseur et pour la fabrication de séries importantes. En réglant avec l'écran la largeur de la zone chauffée (cf. fig. 6), il est possible d'obtenir des rayons de courbure différents, mais il est recommandé de ne pas descendre en dessous d'une valeur égale à 3 fois l'épaisseur de la plaque.

Le chauffage local entraîne des tensions internes au sein de la pièce finie. Certains produits chimiques peuvent endommager les plaques pliées à chaud.

Chauffage de la plaque Makrolon® mono

Pour obtenir des pièces formées de qualité irréprochable, les plaques Makrolon® mono doivent être chauffées

Fig. 9 :



fées de façon homogène et contrôlée à une température comprise entre 175 et 205 °C, la meilleure reproduction des détails étant obtenue à la température la plus élevée. Comme la température de formage est très élevée et que les plaques Makrolon® mono se refroidissent rapidement, il est préférable de chauffer les plaques directement sur la machine de formage et non, comme c'est souvent le cas pour les autres thermoplastes, dans des étuves à circulation d'air séparées.

Nous conseillons d'utiliser, de préférence sur les deux faces, des systèmes de chauffage infrarouge, aux temps de chauffe relativement courts.

Le chauffage simultané des deux faces a pour avantages une température plus uniforme du matériau ainsi que des temps de chauffe plus courts permettant de réduire le cycle de formage et d'augmenter la rentabilité. Le temps de chauffage nécessaire, approximativement proportionnel à l'épaisseur de la plaque, doit être déterminé par des

essais préliminaires menés sur la machine de formage.

Nous conseillons d'assurer une thermorégulation des dispositifs de support et de serrage des plaques afin d'éviter d'importantes pertes de chaleur lors du chauffage ainsi qu'un refroidissement irrégulier risquant de produire des contraintes internes ou un gauchissement de la pièce. Pour améliorer l'uniformité de l'épaisseur de la pièce formée, on peut envisager un préformage mécanique des plaques.

Refroidissement de la pièce finie

Les plaques Makrolon® mono se refroidissent rapidement et requièrent donc un formage rapide. Cependant, la résistance élevée à la déformation à chaud permet des cycles de refroidissement assez courts. Les pièces peuvent être démoulées sans risque de déformation dès que la température est descendue en dessous de 135 °C environ.

Étirage

Vous pouvez réaliser par formage sur

moule positif des pièces simples, à grand rayon de courbure et cintrées autour d'un axe seulement. Les plaques Makrolon® mono, après avoir été portées à la température de transformation dans une étuve à circulation d'air, sont rapidement transférées sur un moule chauffé à 80-100 °C.

La plaque épouse alors la courbure du moule par le seul fait de son poids ou par une légère pression (au moyen de gants ou d'un tissu).

Laissez les plaques refroidir à l'air ambiant, en évitant les courants d'air qui pourraient entraîner des déformations et des contraintes dans les pièces.

Nous vous conseillons de retirer la feuille de protection avant de chauffer la plaque en étuve.

Thermoformage

Outillage :

Pour réaliser des séries importantes ou obtenir une qualité de surface optimale, il est conseillé d'utiliser des

moules en aluminium ou en acier thermorégulés (120-130 °C) à surfaces satinées. Un angle de dépouille de 4 à 6 °C facilite le démoulage.

Lors de la conception des moules, il faut anticiper le retrait en ajoutant une surcote de 0,8 à 1 % et prévoir des événements correctement placés et en nombre suffisant. Leur diamètre ne doit pas dépasser 0,5 à 0,8 mm, afin d'éviter les traces sur la pièce moulée. Des trous percés par l'arrière au moyen de forets de diamètre supérieur facilitent le dégazage du moule (cf. fig. 8). Des matériaux spécifiques permettent de réaliser des moules poreux sans événements.

Les rayons doivent être assez importants et au minimum égaux à l'épaisseur de la plaque afin d'augmenter la rigidité et d'éviter un amincissement et une formation de plis pendant le formage.

Moules négatifs et positifs :

Le choix d'un moule négatif ou positif dépend de l'application considérée. Si vous souhaitez obtenir une meilleure qualité de surface à l'extérieur de la pièce finie, vous opterez pour des moules négatifs qui offrent une meilleure reproduction des détails (cf. fig. 9).

Formage libre par soufflage ou dépression

Cette technique permet de former des coupes sans contre-moule. Le formage positif se fait par soufflage, le formage négatif par dépression. Le chauffage doit être uniforme afin d'éviter la déformation des pièces. Évitez donc les courants d'air, car ils provoquent un chauffage inconstant. Quand la température de la plaque est de 135 °C environ, la

pièce conserve la forme voulue et vous pouvez la retirer.

Autres méthodes

Il existe d'autres méthodes de formage à combinant les procédés susmentionnés.

Formage haute pression

Dans un moule fermé, on augmente à l'air comprimé la pression atmosphérique, qui étire la plaque ramollie sur le moule. On obtient ainsi une reproduction précise des détails et des arêtes nettes.

Formage biplaques

On place deux plaques chauffées entre deux moules négatifs. En insufflant de l'air comprimé, on peut réaliser des pièces creuses rigides et de faible densité. Cette technique permet de former et souder deux pièces en même temps.

Recuit

Il faut toujours transformer le Makrolon® mono dans des conditions optimales afin de limiter la formation de tensions internes, qui pourraient rendre nécessaire un retraitement thermique.

Le recuit consiste à chauffer les pièces, à les maintenir à la température voulue puis à les laisser refroidir lentement.

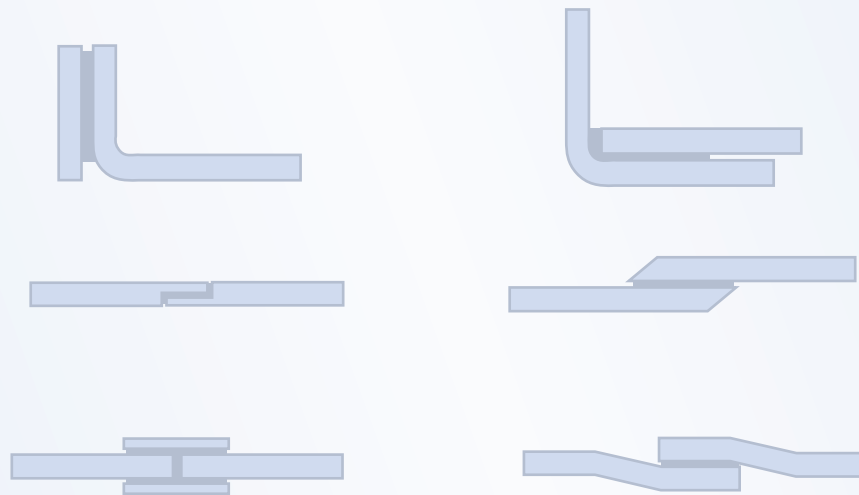
En faisant un recuit dans une étuve à circulation d'air chaud, dans laquelle les pièces sont chauffées à 120-130 °C pendant une période d'une heure par tranche de 3 mm d'épaisseur, il est possible de réduire notablement le niveau de contrainte. Ensuite, les pièces doivent être refroidies lentement jusqu'à température ambiante, de préférence dans l'étuve en évitant les variations rapides de température.

Conseils pour le formage à chaud

Problèmes	Cause possible	Solution	Cintrage à chaud	Étirage	Thermo-formage	Formage libre par soufflage ou dépression
Bulles dans la plaque	Plaque humide	Préséchage	•	•	•	•
	Chauffage trop fort	Réduisez le chauffage	•		•	•
Pièces mal formées	Plaque trop chaude	Réduisez le chauffage			•	•
	Moule trop froid	Augmentez la température du moule			•	
	Pièce démoulée trop tard	Réduisez le cycle de refroidissement			•	
	Dépression trop rapide	Limitez la dépression			•	
	Arêtes trop vives	Arrondissez les arêtes			•	
	Surface de la plaque trop petite	Utilisez des plaques plus grandes			•	
Ondulation	Chauffage irrégulier	Contrôlez les endroits chauds et les endroits occultés			•	
	L'écart entre les empreintes est trop faible	Écart min. = 2 fois la profondeur			•	
	Dépression trop rapide	Limitez la dépression			•	
	Surface de la plaque trop importante	Écart cadre-moule < 50 mm			•	
Détails réduits ou incomplets	Dépression insuffisante	Vérifiez l'étanchéité ou ajoutez des événements			•	
	Température de la plaque trop faible	Augmentez le chauffage			•	
La pièce finie adhère au moule	Moule trop chaud	Réduisez la température du moule			•	
	Pièce démoulée trop tard	Démoulez-la plus tôt			•	
	Angle de dépouille trop faible	Angle de dépouille > 4 °-6 °			•	
Traces	Surface du moule trop lisse	Matez légèrement le moule			•	
	Température de la plaque trop élevée	Réduire le temps de chauffage	•	•		
	Événements mal placés	Repositionnez les événements			•	
Défauts de surface	Poussière sur la plaque ou le moule	Nettoyez à l'air comprimé ionisé		•	•	
	Événements mal placés	Repositionnez les événements			•	
Pièces finies irrégulières	Moule/cadre trop froid	Augmentez le préchauffage			•	
	Chauffage/refroidissement	Contrôlez les courants d'air ; contrôlez le chauffage	•	•	•	•
	Démoulage tardif	Démoulez plus tôt			•	

3. Collage et fixation

Fig. 10 : différents types d'assemblages collés.



3.1 Collage par colles solvantées

La manipulation des solvants exige une très grande prudence : ils peuvent être toxiques ou contenir des substances cancérigènes. Il faut donc assurer une ventilation efficace et respecter les fiches de données de sécurité fournies par les fabricants de solvants.

Si vous collez des plaques Makrolon® mono, assurez-vous que la charge est répartie uniformément sur l'ensemble de la couche de colle. Le joint ne doit être contraint qu'en cisaillement ou en traction et non en pelage (cf. fig. 10).

Pour assembler entre elles des pièces en Makrolon® mono, le collage par colles solvantées est la méthode la plus simple et la plus économique.

En ajoutant 8 % de copeaux de Makrolon® mono, on obtient un vernis adhésif dont la vitesse d'évaporation

réduite et la viscosité plus élevée facilitent l'application de la colle et l'ajustement des pièces.

Ce vernis adhésif, qui remplit les interstices entre les surfaces, a l'avantage supplémentaire d'exiger moins de précision d'ajustage des surfaces à coller que la colle solvantée pure.

À respecter lors du collage :

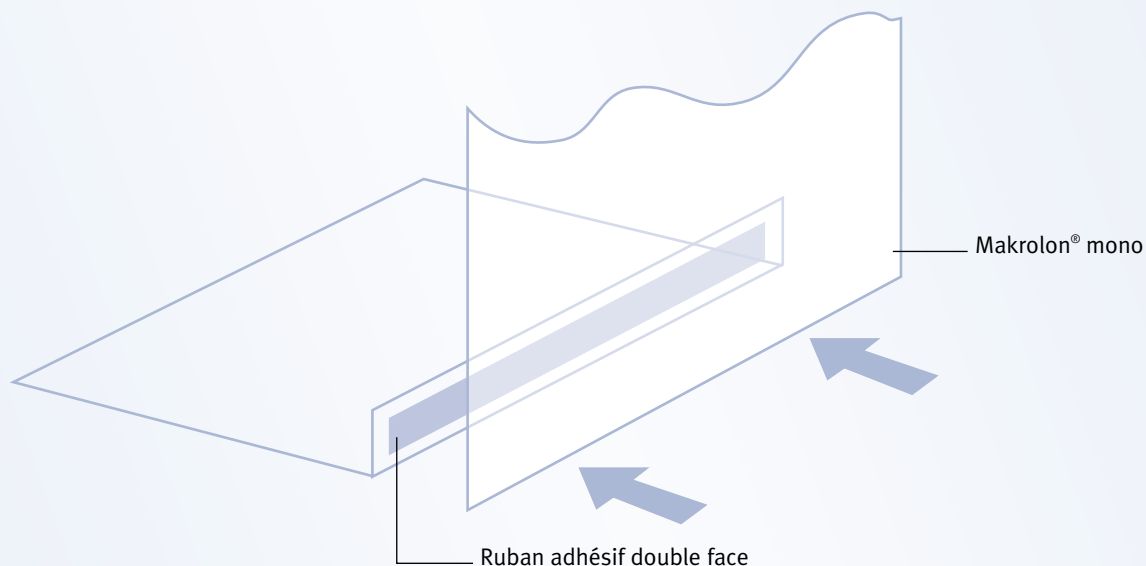
- Débarrassez soigneusement les surfaces à coller de toutes poussières, graisses et autres matières étrangères à l'aide d'un chiffon propre imbibé d'isopropanol.
- Enduisez une des surfaces d'une fine couche de colle solvantée (un excédent de colle fragilise l'assemblage).
- Assemblez rapidement les deux pièces et appliquez pendant quelques instants une pression modérée afin d'assurer un bon accrochage.

- Les pièces collées peuvent être manipulées au bout de quelques minutes seulement, mais, à température ambiante, la résistance maximale de l'assemblage n'est atteinte qu'après quelques jours (dégagement lent du solvant).

N'utilisez pas de colles solvantées pour coller sur de grandes surfaces la face supérieure ou inférieure des plaques Makrolon® mono dura car le revêtement antirayure n'offre pas une adhérence suffisante à la colle.

L'assemblage par colles solvantées d'une pièce en Makrolon® mono et d'une pièce d'un autre matériau thermoplastique est possible à la condition que les deux matériaux réagissent au solvant. Ces assemblages ont généralement une résistance plus faible, qui dépend de la combinaison de matériaux utilisés. Dans ces cas, il est préférable d'avoir recours au collage par adhésifs.

Fig. 11 : collage par ruban adhésif



3.2 Collage par adhésifs

Lors de la mise en œuvre d'adhésifs, il faut respecter les prescriptions générales de sécurité et les précautions spécifiques du fabricant d'adhésifs.

On peut coller les pièces en Makrolon® mono entre elles ou avec d'autres matériaux en utilisant des adhésifs courants compatibles avec le Makrolon®. Il convient de choisir l'adhésif en fonction des paramètres de l'utilisation prévue, comme la stabilité à la chaleur, l'élasticité, l'aspect du joint, la facilité de mise en œuvre, etc.

Il est impératif d'observer les points suivants :

- Pour améliorer l'adhérence, il faut augmenter la rugosité des surfaces à coller et les nettoyer soigneusement.
- Veiller à ce que l'adhésif utilisé ne contienne pas de solvants ou de catalyseurs incompatibles avec le

Makrolon® mono.

- Respecter les instructions d'utilisation du fabricant d'adhésifs.

Si vous utilisez un adhésif pour coller le Makrolon® mono dura, procédez d'abord à des essais préliminaires dans les conditions réelles d'emploi pour juger de l'aptitude de l'adhésif et de la résistance du joint.

3.3 Collage par ruban adhésif

Pour réaliser rapidement un assemblage, vous pouvez utiliser des rubans adhésifs double face transparents (à base acrylique). Ces rubans sont élastiques et adhèrent bien au Makrolon® mono. Ils sont particulièrement indiqués pour coller des plaques Makrolon® mono de faible épaisseur sur d'autres matières plastiques, du verre ou du métal.

Comment réaliser un assemblage de qualité :

- Pliez le bord de la plaque sur une largeur légèrement supérieure à celle du ruban adhésif.
- Nettoyez cette zone à l'isopropanol.
- Appliquez le ruban adhésif avec précaution.
- Écrasez régulièrement le joint avec une roulette pour chasser les bulles d'air et améliorer l'adhérence.

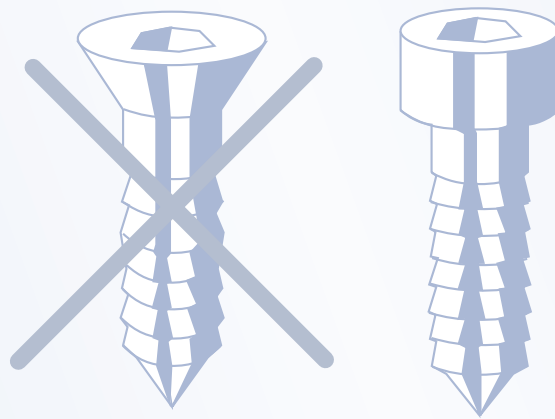
3.4 Soudage

Sur le plan esthétique, le soudage n'est pas la méthode d'assemblage de prédilection. Il est surtout utilisé pour assembler les plaques opaques

Si vous optez pour le soudage, observez les points suivants :

- Avant le soudage, il faut sécher et nettoyer les pièces en Makrolon® mono et les baguettes d'apport afin d'éviter la formation de bulles et

Fig. 12 : n'utilisez jamais de vis à tête fraisée car elles peuvent fissurer la plaque



les inclusions de salissures dans la soudure.

- Les opérations de soudage doivent être suivies d'un recuit pour réduire les contraintes internes dues à la dilatation thermique causée par le soudage.

Soudage à l'air chaud

Cette méthode permet d'assembler entre elles des pièces en Makrolon® mono. La longueur maximale recommandée des soudures de 300 mm vous permet de mieux contrôler les contraintes internes et les gauchissements qui peuvent se produire par suite du chauffage local.

Nous recommandons un débit d'air de 50 à 100 l/min et une température de l'air de 350 à 400 °C, mesurée à 5 mm devant la buse. On peut utiliser comme baguette d'apport des fils extrudés de section circulaire ou profilée, ou même de petites bandes découpées dans une plaque Makrolon® mono.

Soudage par ultrasons

Cette méthode permet d'assembler entre elles des plaques Makrolon® mono. Pour obtenir des informations détaillées sur les appareils de soudage à ultrasons et les conditions de mise en œuvre, contactez les constructeurs de ce type de matériel.

3.5 Fixation mécanique

Percer les plaques Makrolon® mono réduit leur résistance mécanique. Le coefficient de dilatation thermique linéaire du Makrolon® mono est considérablement supérieur à celui du métal ou du verre. De ce fait, il faut prévoir les jeux nécessaires pour que la plaque puisse se mouvoir librement lors des variations de température.

Exemple :

Le tableau présente la dilatation d'une plaque de 1 m de longueur lors d'une augmentation de température de 20 °C.

	Coefficient de dilatation therm. lin. (mm/m °C)	Dilatation pour $\Delta 20\text{ °C}$ (mm)
Makrolon® mono	0,065	1,30
Aluminium	0,024	0,48
Acier	0,012	0,24
Verre	0,008	0,16

Il faut fixer les plaques en limitant le serrage afin d'éviter les contraintes locales excessives. Cette répartition de pression peut se faire à l'aide de rondelles ou de bandes.

Il faut toujours percer les trous de fixation en prévoyant les jeux nécessaires pour compenser les mouvements de dilatation et de retrait. Ces jeux sont fonction des dimensions de la plaque et des variations de température susceptibles de se produire au cours de l'utilisation. Pour les plaques de très grandes dimensions, il peut même être nécessaire de pratiquer des trous

Fig. 13 : fixation mécanique

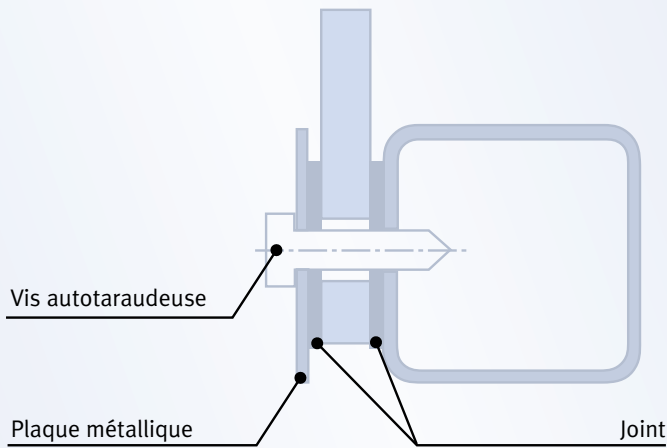
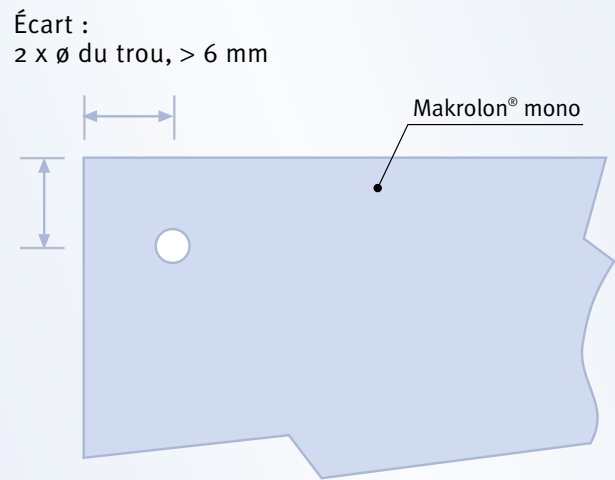


Fig. 14 : fixation mécanique



oblongs. L'écart entre le centre du trou et le bord extérieur de la plaque doit être au moins égal à deux fois le diamètre du trou et ne pas être inférieur à 6 mm. Les vis doivent être serrées de façon à ce que la plaque Makrolon® mono puisse encore bouger lors de changements de température. L'écart doit être de deux fois le diamètre du trou et supérieur à 6 mm (cf. fig. 14).

Vous pouvez tarauder les plaques Makrolon® mono avec des tarauds courants. Ce type de fixation, qui entraîne un risque de rupture par effet d'entaille, doit donc être utilisé que si c'est le seul possible, à l'exception de tout autre (collage, serrage ou vissage par un trou de passage). Ne jamais utiliser d'huile de coupe avec le Makrolon®.

On peut aussi utiliser des inserts métalliques taraudés, posés par ultrasons dans la plaque Makrolon® mono.

Les carters de protection peuvent aussi être serrés dans des profilés en caoutchouc. On peut clouer, agraffer ou

riveter les plaques minces. N'utiliser qu'exceptionnellement ces types de fixations.

4. Finissage

4.1 Ponçage

Vous pouvez préparer les plaques Makrolon® mono au polissage en les ponçant à sec ou à l'eau, avec des abrasifs courants. La pression exercée par l'outil de ponçage sur la pièce doit rester faible afin d'éviter tout début de fusion.

Travaillez progressivement, en utilisant des abrasifs à grain de plus en plus fin (p. ex. 150, 240 et 400).

4.2 Polissage

On peut polir les plaques Makrolon® mono avec des pâtes à polir non alcalines et des disques de type « Reiter » de moyenne densité et de vitesse périphérique comprise entre 20 et 30 m/s.

Le polissage de finition se fait sans pâte à polir avec un disque propre.

Ne pas polir les plaques sur de grandes surfaces.

4.3 Décoration

Avant de traiter les plaques en Makrolon® (peinture, sérigraphie ou formage à chaud), il est conseillé d'enlever à l'air comprimé ionisé les impuretés et la poussière qui adhèrent à la surface (cf. partie 5 « Nettoyage »).

La faible adhérence superficielle des plaques Makrolon® mono dura rend la décoration très difficile. La face mate des plaques Makrolon® mono AR ne peut pas être imprimée.

Peinture et impression

L'impression et la mise en peinture du Makrolon® mono peuvent se faire sans

traitement préalable particulier, après un simple nettoyage.

Il convient de n'utiliser que des peintures, vernis et encres compatibles chimiquement avec le Makrolon® mono afin de ne pas affecter les propriétés du Makrolon® mono. Les produits adéquats sont disponibles auprès des divers fabricants de peintures et d'encres, dont il faut suivre rigoureusement les conseils d'utilisation.

Transfert à chaud

Les plaques Makrolon® mono peuvent être marquées à chaud à l'aide de films transferts.

5. Nettoyage

Le Makrolon® a une surface non poreuse qui n'offre pratiquement pas de prise à la salissure. N'essuyez jamais à sec les pièces poussiéreuses : nettoyez-les à l'eau et avec un chiffon ou une éponge doux.

Si un nettoyage plus poussé est nécessaire, nous vous conseillons d'utiliser un produit nettoyant non abrasif. Ne jamais utiliser de lames de rasoir ou autres outils tranchants, de produits nettoyants abrasifs ou fortement alcalins, de solvants, d'essence au plomb et d'hydrocarbures tétrachlorés.

Un chiffon en microfibres, uniquement humecté d'eau, assure un nettoyage efficace sans pratiquement laisser de traces. Pour nettoyer les pièces en Makrolon plus sales, notamment souillées de graisse, on peut utiliser de l'essence pure sans benzène (white-spirit, essence minérale légère).

Pour enlever la graisse, les traces de peinture et de mastic d'étanchéité encore fraîches, etc., frottez-les légèrement avec un chiffon doux imbibé d'éthanol, d'isopropanol ou d'éther de pétrole (point d'ébullition 65 °C). Les taches de rouille s'enlèvent avec une solution à 10 % d'acide oxalique.

Ne jamais nettoyer le Makrolon® avec des systèmes mécaniques (brosses rotatives, racloirs, etc.). Même si les brosses sont suffisamment alimentées en eau de lavage, elles peuvent rayer la surface. Exception : Makrolon® mono dura.

On peut éventuellement enlever ou atténuer les rayures superficielles en polissant la surface à l'air chaud. Exception : Makrolon® mono dura.

Le Makrolon®, qui présente de bonnes

caractéristiques d'isolation électrique, tend à se charger d'électricité statique et donc à attirer la poussière.

Avant de traiter les plaques en Makrolon®, il est conseillé d'enlever à l'air comprimé ionisé les impuretés et la poussière qui adhèrent à la surface. Le « dé poussiérage » avec un pistolet à air comprimé normal ou un chiffon déplace les particules plus qu'il ne les enlève.

6. Propriétés du Makrolon® mono

Propriétés	Conditions d'essai	Unités	Normes	Makrolon® mono
Propriétés mécaniques				
C. Module d'élasticité	1 mm/min	MPa	ISO 527	2400
C. Contrainte au seuil d'écoulement	50 mm/min	MPa	ISO 527	65
C. Allongement au seuil d'écoulement	50 mm/min	%	ISO 527	6,0
C. Allongement nominal à la rupture	50 mm/min	%	ISO 527	> 50
C. Contrainte à la rupture	5 mm/min	MPa	ISO 527	-
C. Allongement à la rupture	5 mm/min	%	ISO 527	-
C. Module de fluage en traction	1 h	MPa	ISO 899-1	2200
C. Module de fluage en traction	1000 h	MPa	ISO 899-1	1900
C. Résilience selon CHARPY S.R.	23° C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	S.R.
C. Résilience selon CHARPY S.R.	-30° C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	S.R.
Résistance au choc après entaille selon IZOD	23° C	kJ/m ²	ISO 180-4A	95
Résistance au choc après entaille selon IZOD	-30° C	kJ/m ²	ISO 180-4A	15
Propriétés thermiques				
C. Température de transition vitreuse	10 K/min	° C	IEC 1006	150
C. Température de résistance à la déformation HDT	Méthode Af	1,80 MPa	ISO 75	128
	Méthode Bf	0,45 MPa		141
C. Température de ramollissement Vicat	50 N; 50 K/h	° C	ISO 306	147
C. Coefficient de dilatation thermique linéaire	longitudinal	23 tot 55°C	ASTM E 831	0,7
	transversal			0,7
C. Combustibilité UL 94/épaisseur en mm, Yellow Card		classe	UL 94, (IEC 707)	V-2/0,81 HB/1,5 HB/3,0
C. Combustibilité – indice d'oxygène	procédé A	%	ISO 4589	28
Température max. pour test au fil incandescent	1,0 mm	° C	IEC 695-2-1/2	850
	1,5 mm			850
	2,0 mm			850
	3,0 mm			960

Propriétés	Conditions d'essai	Unités	Norm	Makrolon® mono
Propriétés électriques				
C. Indice de permittivité	100 Hz		IEC 250	3,0
C. Indice de permittivité	1 MHz		IEC 250	3,0
C. Angle de pertes diélectriques	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 250	10
C. Angle de pertes diélectriques	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 250	80
C. Résistivité transversale spécifique		ohms · cm	IEC 93	10 ¹⁶
C. Résistivité superficielle spécifique		ohms	IEC 93	10 ¹⁶
C. Rigidité diélectrique		kV/mm	IEC 243-1	30
C. Indice de tenue au cheminement CTI	solution d'essai A	classe	IEC 112	275
Autres propriétés				
C. Absorption d'eau dans l'eau	saturation à 23 °C	%	ISO 62	0,35
C. Absorption d'humidité	23 °C/hum. rel. 50 % ; saturation	%	insp. d'ISO 62	0,15
C. Densité		kg/m ³	ISO 1183	1200
Transmission de la lumière	1 mm	%	définie par DIN 5036-1	81

Toutes les indications fournies sont des valeurs directrices !

Les propriétés précédées d'un « C » sont issues de la banque de données sur les matières plastiques CAMPUS® et reposent sur le catalogue international des données de base pour matières plastiques ISO 10350 (Plastics Acquisition and Presentation of Comparable Single-Point Data, 1992).

S.R. = sans rupture

7. Fournisseurs

Le Service technique de la société Makroform peut vous indiquer les coordonnées de fournisseurs d'outillage spécial et d'accessoires.

Les sociétés de distribution Makroform.

Allemagne :

Makroform GmbH
Dolivostrasse
D-64293 Darmstadt
Tel. +49 (0) 6151/183 90 00
Fax +49 (0) 6151/183 90 07

Makroform is a Joint Venture between Bayer AG and Röhm GmbH & Co. KG.

Makrolon®, Vivak®, Axpert® et Bayloy® sont des marques déposées de Bayer AG.

E-mail : sales@makroform.com
Makroform sur Internet : www.makroform.com

Belgique :

Makroform N.V.
Wakkensesteenweg 47
Industriepark Zuid
B-8700 Tielt
tel. +32 (0) 51/42 62 00
fax +32 (0) 51/42 62 02

Italie :

Makroform S.p.A.
Via Ludovico di Breme 13
I-20156 Milán
tel. +39 02/39 23 15 1
fax +39 02/39 23 15 643

Clause de responsabilité civile produit :

Les informations contenues dans la présente brochure et les conseils en matière d'application technique prodigués sous forme orale, écrite et expérimentale, sont communiqués en toute bonne foi, mais sous toute réserve, également vis-à-vis d'éventuels droits de protection de tiers. Le conseil ne vous dégage pas de l'obligation de vérifier vous-même notre documentation de conseil actuelle – notamment nos fiches de sécurité et informations techniques – et nos produits afin de déterminer s'ils sont adaptés aux procédés et usages visés. L'application, l'utilisation et la transformation de nos produits et des produits fabriqués par vos soins sur la base de nos conseils en matière d'application technique interviennent en dehors de nos possibilités de contrôle et relèvent par conséquent de votre seule responsabilité. La vente de nos produits s'effectue conformément à nos Conditions générales de vente et de livraison respectivement en vigueur.
MF 0015 f Juli 2001

makroform

THE LONG-TERM-PARTNER