

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Les plastiques alvéolaires (mousses plastiques) thermodurcissables rigides Blaga, A.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001111>

Digeste de la construction au Canada; no. CBD-168F, 1976-02

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=46d7c9e3-7388-4f4b-b485-23d7d7be9988>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=46d7c9e3-7388-4f4b-b485-23d7d7be9988>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 168F

Les plastiques alvéolaires (mousses plastiques) thermodurcissables rigides

Publié à l'origine en Février 1976

A. Blaga

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Les améliorations des techniques de production et les propriétés que les mousses thermodurcissables ont acquises en conséquence, font que ces matériaux se prêtent de plus en plus à une vaste gamme d'applications. La matrice de ces mousses est à base de polymère réticulé (ponté), de sorte que comme les plastiques dont elles sont dérivées, elles présentent généralement une bonne résistance aux solvants et à la plupart des produits chimiques. Bien que certaines d'entre elles subissent un faible écoulement plastique aux températures élevées, les mousses thermodurcissables ne présentent ordinairement pas une gamme de points de fusion et peuvent souvent être utilisées à des températures plus élevées que les mousses thermoplastiques (il y a des exceptions).

Dans la production des plastiques alvéolaires thermodurcissables, l'expansion a lieu en même temps que la formation du polymère par réaction des matières premières liquides. Les techniques utilisées peuvent par conséquent être adaptées à la production de mousse *in situ* (en place), ce qui constitue un avantage important dans certaines applications. Les mousses thermodurcissables les plus connues sont celles à base de polyuréthane, de phénol-formaldéhyde (phénol-formol) et d'urée-formaldéhyde (urée-formol); les mousses à base de résines époxydes et de silicones sont moins connues. Certaines d'entre elles, comme les mousses de phénol-formaldéhyde et d'urée-formaldéhyde, sont produites au moyen d'un catalyseur à base d'acide inorganique et le résidu acide peut dans certains cas entraîner des problèmes de corrosion. Il semble cependant qu'il existe des types de mousse améliorés qui ne sont pas corrosifs ou le sont moins.

Les plastiques en général et la plupart des mousses plastiques en particulier (du fait de leur grande surface), peuvent constituer un danger d'incendie et de fumée dans les bâtiments. A l'heure actuelle, on est très conscient des dangers éventuels imputables aux mousses exposées et certaines autorités recommandent de placer les mousses inflammables et celles expansées au pistolet, derrière une barrière d'un matériau quelconque ayant un certain degré pare-flammes.

Cette discussion sera limitée à traiter des mousses rigides, ordinairement à alvéoles fermés, qui sont utilisées dans la construction et dans les domaines connexes. Parmi les mousses rigides, la mousse de polyuréthane se prête au plus grand nombre d'usages et nous en ferons la description la plus détaillée. Les tableaux I et II présentent les propriétés générales, les caractéristiques et les applications de quatre plastiques alvéolaires thermodurcissables rigides vendus dans le commerce.

Tableau I. Propriétés types des mousses thermodurcissables rigides (1)*

Mousse plastique	Masse spécifique lb/pi ³	Résistance thermique des éprouvettes de 1 po** °F/Btu/h pi ² (ASTM D-2326)	Coefficient de dilatation thermique 10 ⁻⁵ /°F (ASTM D-696)	Perméabilité à la vapeur d'eau, perm-po (ASTM C-355)	Taux d'absorption d'eau (à court terme), % en volume (ASTM D-2127)	Résistance à la compression pour déformation de 10% (lb/po ²) (ASTM D-1621)	Température maximale en service continu,*** °F
Polyuréthane*** *	1.5-3.0	6-9	3-8	0.9-3.0	<0.1-2.0	15-60	212
Phénol-formaldéhyde (mousse produite <i>in situ</i> [sur place])	2.0-5.0	4-5	0.5	10-90	1.0-4.0 à 50% HR 13-51 à 100% HR	22-85	300
Urée-formaldéhyde (Carbamide-formaldéhyde)	0.8-1.2	5-6	-	30-100	très élevé	5	120
Epoxyde (expansée <i>in situ</i> ou au pistolet)	1.8-2.3	7-9	-	-	-	13-26	160-200

*Certaines des données ont été obtenues au laboratoire DBR/CNR sur des produits du commerce.

**La résistance thermique à une température moyenne de 70°F.

***Ces températures se rapportent aux matériaux secs; les températures qui correspondent aux mousses humides sont ordinairement bien plus faibles.

****Mousse expansée au moyen d'un gonflant halocarboné.

Tableau II. Caractéristiques et applications des mousses thermodurcissables rigides

Mousse plastique	Caractéristiques et formes existantes	Application principale*
	Résistance thermique très élevée pour une épaisseur donnée; faible absorption d'eau et faible perméabilité à la vapeur d'eau; bonne stabilité thermique; bonne adhérence. Vendue sous forme de blocs, de planches, de dalles, de formes moulées, des mélanges liquides réactionnels préparés d'avance.**	Isolation thermique des toitures, des murs creux, isolation périphérique; réfrigération, isolation des tuyaux. Ames des panneaux du type sandwich; objets insubmersibles; emballages de protection; ameublement.
Polyuréthane		
Phénol-formaldéhyde*** (phénol-formol)	Résistance relativement faible pour une épaisseur donnée. Grande résistance mécanique et très bonne stabilité thermique. Fabriquée sous forme de blocs, de feuilles; mélanges liquides réactionnels préparés à l'avance pour expansion <i>in situ</i> .	Isolation des toitures plates. Ames des panneaux du type sandwich.
Urée-formaldéhyde*** (urée-formol)	Résistance thermique élevée pour une épaisseur donnée, mais	Isolation des murs creux.

	faible résistance mécanique. Absorption d'eau et perméabilité à la vapeur d'eau élevées. Fabriquée sous forme de blocs, de dalles et de lambeaux; mélanges liquides réactionnels préparés pour expansion <i>in situ</i> .	
	Bon rendement d'isolation. Résistance mécanique élevée, bonne tenue aux produits chimiques et à l'humidité. Fabriquée sous forme de planches, d'objets moulés; mélanges liquides réactionnels pour expansion <i>in situ</i> et au pistolet.	A cause du prix relativement élevé, l'utilisation est limitée aux revêtements pour réservoirs par expansion au pistolet et à la fabrication de l'âme des panneaux du type sandwich.
Epoxydes***		

*Bien que certaines mousses thermodurcissables présentent une très faible perméabilité à l'eau, il faut toujours utiliser un pare-vapeur.

**Il existe des formulations en un stade ou au prépolymère partiel en deux ou trois parties pour expansion *in situ*, au pistolet ou expansion par écumage *in situ*.

***A base de résine.

Les mousses de polyuréthane

La mousse de polyuréthane est produite sous formes souple et rigide, à alvéoles fermés et ouverts et en produits préfabriqués; dans le commerce il y a aussi des mélanges liquides préparés à l'avance pour être expansés en mousse *in situ* ou au pistolet. La mousse rigide est un produit très réticulé qui ne reprend plus sa forme initiale après déformation. Les propriétés de la mousse de polyuréthane dépendent de sa formulation, ainsi que de la technique

d'expansion employée pour produire la mousse et de la méthode de fabrication. Par conséquent, pour mieux faire connaître la nature et la performance du matériau, nous parlerons succinctement des méthodes d'expansion et des techniques de production.

Expansion (formation de mousse)

La mousse de polyuréthane est produite fondamentalement par réaction de deux ingrédients principaux (liquides) d'une formulation, un polyol (ayant des groupes OH, hydroxyles) et un polyisocyanate (ayant des groupes-N=C=O, isocyanates), en présence d'un catalyseur, d'un agent gonflant (agent moussant) et d'un tensioactif (et d'autres ingrédients). La réaction des deux principaux ingrédients est exothermique (dégageant de la chaleur) et donne naissance à la structure polymère de la matrice. En variant le type et la quantité des ingrédients qui entrent dans la composition, on peut produire diverses mousses dont les masses spécifiques vont de moins d'une livre à plus de 60 livres par pied cube.

Le polyol peut être un polyéther ou un polyester, mais à l'heure actuelle, le polyol de polyéther est le plus fréquemment utilisé. Les polyisocyanates les plus fréquemment utilisés dans la production des mousses de polyuréthane rigides sont le diisocyanate de toluylène et le diisocyanate de diphénylméthane. Une forme polymère du dernier (qualité brute) est la plus utilisée généralement à l'heure actuelle.

Il y a en général, deux façons d'effectuer la formulation des ingrédients d'une mousse: elle se fait soit par la méthode en un seul stade (*one shot*) soit par celle du prépolymère partiel. Dans la méthode en un seul stade, tous les ingrédients sont mélangés simultanément au moment de la production de la mousse, de sorte que la formulation et la gamme des propriétés présentent une grande souplesse. Dans la méthode du prépolymère partiel, la quantité totale d'isocyanate réagit d'abord avec une partie du polyol; l'intermédiaire qui en résulte constitue le composant A. Le reste du polyol, qui contient le catalyseur, l'agent gonflant et les autres ingrédients, forme le composant B. Les deux composants sont présentés dans des récipients distincts et constituent un système moussant en deux parties préparé à l'avance, qui nécessite une bonne agitation pour effectuer le mélange des constituants et déclencher la montée de la mousse.

Les techniques de fabrication des mousses

Les techniques ordinairement employées pour produire les mousses de polyuréthane rigides comprennent l'expansion *in situ*, l'expansion au pistolet et la fabrication en continu. Pour l'expansion *in situ* le liquide ou l'écume doit être coulé après agitation, directement dans un moule ou dans une cavité. C'est une technique très utile pour le remplissage des cavités vides ou irrégulières: par exemple, les cavités qui se trouvent à l'intérieur des carrosseries de camion ou des réfrigérateurs, entre les parements des murs de bâtiments (murs creux). L'adhérence de la mousse à la plupart des matériaux est bonne, mais elle est meilleure lorsque la surface est chaude et propre, exempte d'huile, sèche et rugueuse. La plupart des mousses produites par expansion *in situ* sont à base de formulation de prépolymère partiel, à cause de la facilité de fabrication et de la réduction des dangers. Les mélanges écumés sont utilisés de plus en plus pour produire les mousses par la technique de l'expansion *in situ*. Dans l'expansion *in situ* des mélanges écumés, on peut utiliser soit les formulations en un seul stade, soit celles à prépolymère partiel. Cette technique de production des mousses convient particulièrement aux applications dans les immeubles-tours; elle donne une mousse ayant une densité et une structure uniformes.

Dans la fabrication par expansion au pistolet, les matières premières sont mélangées et pulvérisées au moyen de pistolets spéciaux, puis elles sont débitées sous forme de fines gouttelettes plutôt que sous forme d'écoulement continu. La méthode permet d'accumuler la mousse d'uréthane rigide en couches minces sur de grandes surfaces, sans utiliser de moules spéciaux. Les formulations pour expansion au pistolet produisent une réaction rapide (fortement catalysée), en vue d'empêcher l'affaissement de la mousse; on peut appliquer de nouvelles couches presque immédiatement, en passes consécutives.

Dans la fabrication en continu (en usine) les réactifs sont transvasés par des pompes doseuses dans une chambre de mélange et le liquide réactionnel est versé continuellement sur un tapis roulant en forme d'auge. Après la réticulation, qui se produit à l'écart de la machine de production, le bloc continu peut être découpé ou façonné par d'autres moyens mécaniques, en épaisseurs et sous des formes désirées. Dans une méthode modifiée, un second tapis roulant placé au-dessus du premier est utilisé de façon à produire des panneaux de mousse ayant des parements (placages) sur les deux côtés (panneaux du type sandwich). Les matériaux de parement incluent des métaux tels que l'aluminium et l'acier, du polyester armé de fibres de verre, des panneaux de contreplaqué et des plaques de perlite.

Propriétés et application

Comme les plastiques thermodurcissables, les mousses de polyuréthane rigides présentent une résistance relativement bonne à la décomposition thermique jusqu'à environ 390 à 480 °F (environ 200 à 250 °C). La température maximum en service continu est de 212 à 275 °F (de 100 à 135 °C), alors que les mousses ordinaires de polyoléfines, de polystyrène et copolymère du styrène ne peuvent pas être utilisées au-dessus de 160 à 175 °F (de 71 à 79 °C). Les mousses à usage général sont inflammables, mais on peut y incorporer des agents ignifugeants qui leur donnent divers degrés d'inflammabilité pour les applications qui exigent un degré pare-flammes précis.

La plupart des mousses rigides à faible masse spécifique (densité absolue ou densité) (<4.0 lb/pi³) sont expansées au moyen d'halocarbures. Par exemple, le fluorotrichlorométhane (fluorocarbure-11) peut être utilisé seul ou avec le difluorodichlorométhane (fluorocarbure-12). Certaines mousses à haute densité (>4 lb/pi³) sont expansées au gaz carbonique. Dans de telles mousses, le gaz est produit *in situ*, par voie chimique, par réaction de l'eau (ajoutée expressément) avec le polyisocyanate. Des échantillons de mousse polyuréthane expansée aux halocarbures, fraîchement préparés, ont des facteurs R (résistance thermique) considérablement supérieurs à ceux des échantillons de mousse expansée au CO₂. Les résistances thermiques types des échantillons de 1 po varient entre 7 et 9. Ces valeurs représentent les résistances thermiques initiales des échantillons de mousse, après un vieillissement de 6 mois à un an, le facteur R diminue à 6 unités (ou moins). Par la suite, le facteur R de la mousse expansée au halocarbure continue à diminuer, bien que plus lentement, du fait que l'air et la vapeur d'eau diffusent dans les alvéoles alors que l'halocarbure s'en échappe (**CBD 149F**). Le facteur R d'un échantillon de 1 po diminue éventuellement pour atteindre 4 à 4.5 unités.

Étant donné sa mauvaise résistance aux intempéries, la mousse polyuréthane ordinaire à basse densité doit être protégée lorsqu'elle est exposée à l'atmosphère. Les mousses à haute densité, en particulier celles qui sont produites de façon à garder une pellicule de surface, présentent une bonne résistance aux intempéries. En général, les mousses polyuréthanes rigides ordinaires n'entretiennent ni empêchent la croissance des micro-organismes.

Étant donné l'ensemble de ses propriétés intéressantes, la mousse polyuréthane est la plus largement utilisée de toutes les mousses thermodurcissables; elle est au deuxième rang, après la mousse de polystyrène (une mousse thermoplastique). Bien qu'elle soit plus coûteuse que les autres matériaux isolants, la mousse polyuréthane offre plusieurs avantages: une résistance thermique élevée pour une épaisseur donnée, une grande résistance mécanique pour un faible poids, une perméabilité relativement faible à la vapeur d'eau et un faible taux d'absorption d'eau. En outre, elle se prête à diverses applications par expansion *in situ*, telles que le remplissage des cavités compliquées. Parmi ses applications on peut citer: l'isolation thermique, l'utilisation comme âme des panneaux du type sandwich, l'emballage et la fabrication des meubles.

Les mousses polyuréthanes rigides, en particulier celles qui sont expansées aux halocarbures, sont utilisées comme isolant thermique dans un large intervalle de température (de -127 à +260 °F; de -88 à +127 °C). Les applications incluent l'isolation périphérique, l'isolation des murs et des toitures dans les bâtiments résidentiels, industriels ou publics, des panneaux des murs-rideaux, l'isolation des congélateurs et des camions frigorifiques, des tuyaux de

réfrigération, ainsi que l'isolation des tuyaux et réservoirs industriels. Dans l'isolation des toitures, la mousse de polyuréthane offre un avantage supplémentaire par rapport à la mousse de polystyrène, son principal concurrent dans une telle application, du fait qu'elle peut être tamponnée à chaud au moyen du bitume sans causer de dommage sensible à la structure alvéolaire.

L'adhérence sur plusieurs matériaux, la facilité de fabrication et la bonne résistance mécanique pour un faible poids font que la mousse d'uréthane rigide est un bon matériau d'âme des panneaux modulaires du type sandwich produits en série, ainsi que pour la production d'autres éléments structuraux.

Grâce à sa structure à alvéoles fermés, qui ralentit l'absorption d'eau, ainsi qu'à sa faible densité, la mousse rigide garde ses caractéristiques de flottabilité pendant un temps relativement long. A ce titre, ses applications comprennent: docks flottants, bouées, matériau à force portante dans des bateaux de plaisance et des sous-marins, rampes flottantes et matériaux flottants coulés *in situ* dans les opérations de sauvetage en mer. Du fait qu'elles absorbent l'énergie et qu'elles peuvent remplir les cavités irrégulières, les mousses de polyuréthane conviennent aux emballages de protection, en particulier pour le matériel électronique et militaire.

Les possibilités de moulage et de fabrication en un stade (expansion pour produire la mousse et fabrication simultanées des produits finis) par la technique de l'expansion en place ont permis d'utiliser les mousses rigides dans la production des meubles. La facilité de moulage permet même la reproduction fidèle des fibres du bois et d'autres dessins décoratifs. Les mousses utilisées pour fabriquer les meubles sont celles à masse spécifique élevée (jusqu'à 45 lb/pi³).

Les mousses de polyisocyanurate

Les mousses de polyisocyanurate récemment mises sur le marché, sont étroitement liées à la mousse de polyuréthane, mais elles ont une plus grande stabilité thermique et une inflammabilité inhérente plus faible. Les mousses de polyisocyanurate sont généralement produites au moyen des mêmes réactifs fondamentaux que la mousse de polyuréthane (en utilisant les mêmes méthodes d'expansion); ces réactifs comprennent le polyisocyanate (ordinairement diisocyanate de diphenylméthane) et le polyol (en quantité réduite). Cependant, les conditions de réaction utilisées sont différentes en ce sens que la polymérisation du polyisocyanate donne surtout des polyisocyanurates plutôt qu'exclusivement des polyuréthanes.

Les mousses à base de résine phénol-formaldéhyde (phénol-formol)

Les mousses à base de résine phénol-formaldéhyde ont une bonne stabilité dimensionnelle et un rapport élevé entre la résistance mécanique et le poids; elles sont moins inflammables que la plupart des plastiques alvéolaires, mais du fait de leur haute teneur en alvéoles ouverts, elles présentent une résistance thermique relativement faible, une absorption d'eau très élevée et une très forte perméabilité à la vapeur d'eau. On peut en améliorer le rendement d'isolation thermique, par l'application d'une pellicule qui peut par exemple être une feuille de feutre ou une couche de bitume appliquée à chaud. On a mis au point, récemment, des mousses phénoliques ayant une teneur relativement élevée en alvéoles fermés (jusqu'à 75 pour cent) qui sont encore moins inflammables.

Les mousses à base de résine phénol-formaldéhyde sont utilisées comme isolants thermiques (par exemple, dans l'isolation des toitures plates), âmes des panneaux du type sandwich, emballages, et comme matériaux pour la confection des objets d'art et d'artisanat. Les mousses à base de résine phénol-formaldéhyde sont généralement utilisées en masse spécifique variant de 2.5 à 4 lb/pi³, lorsque l'application exige une haute résistance mécanique.

Les mousses à base de résine d'urée-formaldéhyde

La mousse à base de résine d'urée-formaldéhyde, appelée également mousse de résine carbamide-formaldéhyde (en particulier au Royaume-Uni), est un matériau peu coûteux qui

peut être fabriqué à très faible masse spécifique (de 0.5 à 10 lb/pi³). Elle présente une résistance thermique élevée pour une épaisseur donnée et absorbe bien le son (lorsqu'elle contient surtout des alvéoles ouverts). Cependant, elle a de nombreux inconvénients tels qu'une faible résistance mécanique, une forte absorption d'eau, une forte perméabilité à la vapeur d'eau, une tendance à subir un retrait considérable au cours du séchage, ainsi qu'une gamme de températures de service relativement réduite (de -20 à +120 °F; de -29 à +50 °C). Sa principale application est l'isolation thermique des murs creux dans lesquelles elle est expansée *in situ*. Récemment, de nombreuses modifications chimiques ont été apportées à la mousse d'urée-formaldéhyde, en vue de palier certaines faiblesses telles que la friabilité, le manque de stabilité dimensionnelle et la forte absorption d'eau.

Les mousses à base de résines époxydes

Ces mousses ont une très bonne résistance aux produits chimiques et à l'humidité et donnent une bonne isolation thermique. Du fait qu'elles sont plus coûteuses que les mousses ordinaires, leur utilisation dans le domaine de la construction se restreint surtout à la fabrication d'âme des panneaux, à basse densité, par expansion *in situ* et à l'isolation thermique des murs, des réservoirs et des cuves, par expansion au pistolet *in situ*. Il existe des types spéciaux de mousses à base de résines époxydes, ayant un intervalle de températures de service qui s'étend jusqu'à 250 °F (120 °C).

Référence bibliographique

1. Guide to Plastics, by the Editors of Modern Plastics Encyclopedia, McGraw-Hill Inc., New York, 1970.