Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 46 (1983)

Artikel: Adhésion entre les matériaux traditionnels et les résines époxy
Autor: Cardon, Albert H. / Boulpaep, Frans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35852

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Adhésion entre les matériaux traditionnels et les résines époxy

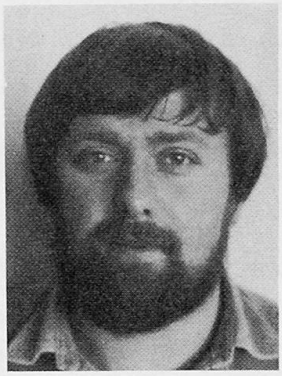
Der Verbund zwischen traditionellen Baustoffen und Epoxidharzen

Adhesive Properties of Epoxy Resins

Albert H. CARDON
Dr.
Vrije Univ.
Bruxelles, Belgique

Albert H. Cardon, (1938). Dr. en Sciences (ULB, 1971). Depuis 1960 assistant à l'U.L.B., puis à la V.U.B. Chargé de cours et ensuite professeur ordinaire à la Faculté des Sciences Appliquées de la Vrije Universiteit Brussel. Responsable de l'unité de mécanique des milieux continus.

Frans BOULPAEP
Ing.
Vrije Univ.
Bruxelles, Belgique



Frans Boulpaep (1953). Ingénieur industriel. Assistant Technique à l'unité de Mécanique des Milieux Continus de la Faculté des Sciences Appliquées de la Vrije Universiteit Brussel (V.U.B.).

RESUME

Depuis de nombreuses années les résines époxy sont utilisées pour la réfection d'ouvrages de génie civil. Ces résines ont un caractère viscoélastique et présentent dès lors des phénomènes de fluage. Il est fait état de l'influence de la température, de la fréquence et de l'humidité sur ces caractéristiques mécaniques et les conséquences sur l'adhésion et dès lors sur la qualité de la réfection.

ZUSAMMENFASSUNG

Seit vielen Jahren werden Epoxidharze zu Wiederherstellungsarbeiten im Bauwesen verwendet. Diese Harze sind viskoelastischer Natur und weisen deshalb Kriechphänomene auf. Wir untersuchen den Einfluss von Temperatur, Frequenz und Feuchtigkeit auf diese mechanischen Eigenschaften und die Auswirkungen auf die Adhäsion und so auf die Qualität der Wiederherstellungsarbeiten.

SUMMARY

For many years, epoxy resins have been used for repairs in civil engineering construction. The resins are viscoelastic and consequently exhibit creep phenomena. The influence of temperature, frequency and the moisture on the mechanical characteristics and the effects on the adhesion properties of the epoxy and finally on the general quality of the repair have been studied.

INTRODUCTION

L'application relativement facile des résines époxy, sous forme quasi-fluide suivi d'un durcissement rapide, explique en grande partie leur utilisation fréquente dans les problèmes de réfection et réparation d'ouvrages de génie civil. Ils doivent assurer, ou rétablir, des liaisons et transferts de contraintes entre différents matériaux traditionnels tels le béton, la pierre, l'acier, l'aluminium et le bois.

Leur utilisation, bien que généralement en couches minces, suppose de bonnes qualités d'adhésion. Cette adhésion, et le transfert de contraintes réalisé par cette couche époxy, est fonction des caractéristiques de ces résines.

Elles présentent un caractère viscoélastique qui, pour faibles taux de contrainte, peut valablement être considéré comme linéaire. Non seulement des phénomènes de fluage et relaxation vont se manifester, mais la température et l'humidité peuvent fortement influencer leur rigidité.
La fréquence des sollicitations joue également un rôle sur leur comportement mécanique. La rigidité de l'assemblage dans lequel la couche époxy joue un rôle de liaison sera dès lors aussi influencée par ces différents paramètres.

Il est dès lors important de connaître au mieux les propriétés mécaniques globales de ces résines en fonction de la fréquence, de la température et de l'humidité. De connaître ensuite l'influence de cette variation des caractéristiques mécaniques sur l'adhésion et dès lors sur la qualité de la réfection réalisée.

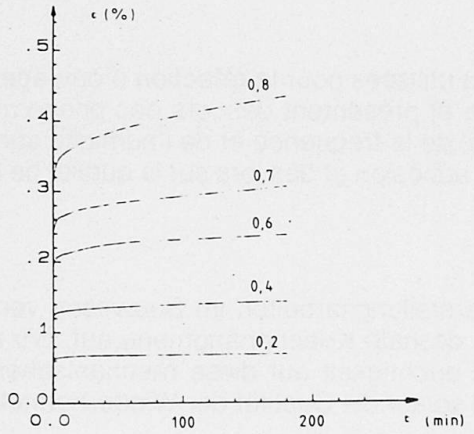
1. COMPORTEMENT VISCOELASTIQUE

Pour un matériau élastique lorsque $\sigma = \sigma_o$ (cte), la déformation est instantanée et constante ; elle vaut $\varepsilon = \sigma_o/E$ (E étant le module d'élasticité).

Lorque le matériau élastique, pour $\sigma = \sigma_o$ = cte, $\varepsilon = f^{ion}(\sigma_o,t)$ et dans l'hypothèse d'un comportement linéaire : $\varepsilon = \sigma_o\ k(t)$.

La déformation varie en fonction du temps et k(t) est la fonction de fluage.

La figure 1 donne les fonctions de fluage pour une résine époxy utilisée couramment pour des réparations d'ouvrages de génie civil.



Ces courbes sont obtenues à 35°C. On remarquera que tant que $\sigma_o < 0.6\ \sigma_{rupture}$, on peut les réduire à une courbe de fluage unique $k(t) = \varepsilon/\sigma_o$.

Pour $\sigma_o > 0.6\ \sigma_r$ cette réduction n'est plus possible et une modèlisation non-linéaire s'impose.

Au lieu de considérer une contrainte imposée, on peut imposer la déformation. Dans ce cas, pour un comportement linéaire, on obtiendra une courbe de relaxation $r(t) = \sigma/\varepsilon_o$.

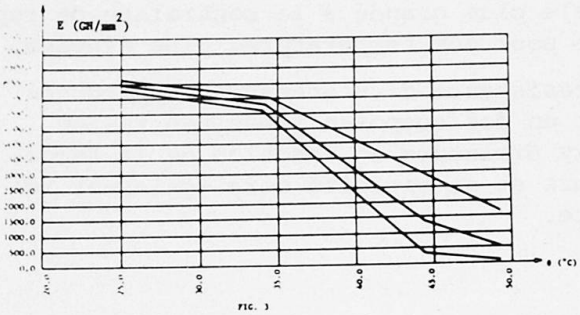
Les essais de fluage et de relaxation sont des essais quasi-statiques. L'information qu'elles permettent d'obtenir nécessitera une mesure précise pour les effets quasi-instantanés et les effets à long terme. Une information équivalente peut s'obtenir en effectuant des essais dynamiques, p. ex. $\sigma = \sigma_o \cos \omega t$ avec en comparaison $\varepsilon = \varepsilon_o \cos (\omega t-\delta)$.

Le module réel du solide élastique parfait E sera remplacé par un module complexe $\underset{\sim}{E} = E_1 + iE_2$ dans lequel E_1 sera un mesure de l'élasticité du matériau et E_2 une mesure de l'amortissement.

Les méthodes classiques dynamiques permettent généralement des mesures de E_1 et $tg\ \delta = E_2/E_1$.
E_1 et $tg\ \delta$ sont fonction de la pulsation ω, mais également de la température.

Pour certains matériaux, rhéologiquement simples, une correspondance existe entre la dépendance vis-à-vis de ω et celle vis-à-vis de la température. Cette propriété bien connue donne lieu à la construction d'une courbe maitresse, mieux connu sous le nom du principe W.L.F., (Williams - Landell - Ferry).

Pour des matériaux rhéologiques simples des essais dans une bande de fréquences donnée à différentes températures permettent par translation verticale des résultats d'obtenir les caractéristiques du matériau pour une plus grande gamme de fréquences, ou pour une plus grande gamme de températures.



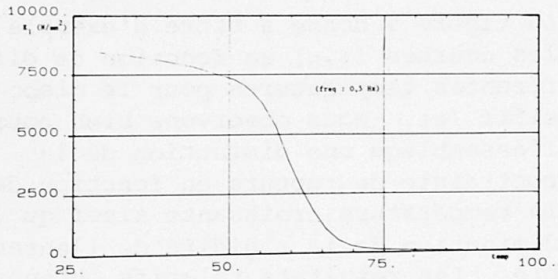
La figure 2 donne E_1 en fonction de la température pour différentes fréquences pour une résine époxy courante. On remarquera que la température de transition (température pivot pour le passage de l'état à grande rigidité vers un état de plus faible rigidité) est d'environ 40°C.

2. EQUIPEMENT DE MESURE - TEMPERATURE DE TRANSITION

Nous disposons d'équipements commercialement disponibles permettant d'effectuer des mesures en traction-compression sinusoidale dans une gamme de fréquences 0.1 Hz à 1000 Hz et dans un domaine de variation de températures de -180°C à 250°C. La majorité de nos résultats expérimentaux se situent actuellement entre 0.1 à 10 Hz et de 20°C à 180°C.

Ces domaines de mesure sont suffisants pour la détermination des caractéristiques viscoélastiques des résines époxy que nous étudions.

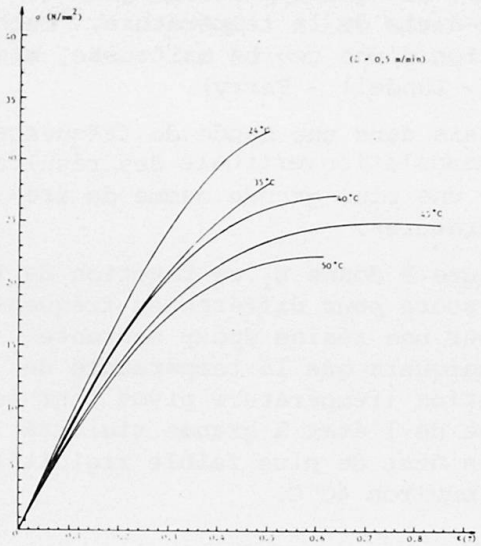
La température de transition peut évoluer vers des valeurs plus élevées en fonction d'un cycle de recuit de la résine. Elle peut évoluer vers des valeurs plus petites lorsque le degré d'humidité augmente.



La figure 3 donne E_1 en fonction de la température pour une fréquence de 0.5 Hz pour la résine dont les caractéristiques sans recuit sont données par la figure 2. Lors de cette expérience la résine a subit au préalable un recuit standard (72 heures à 40°C). On remarquera que la température de transition est passée de 40°C aux environs de 60°C.

Une conclusion immédiate s'impose. Afin d'éviter une température de transition basse, environ 40°C, qui est courante, au moins à la surface d'ouvrages de génie civil exposés au soleil, il y a lieu de prévoir une opération de recuit pour agrandir le domaine vitreux.

Si une telle opération de recuit est aisée à effectuer en laboratoire, il semble douteux que la mise en oeuvre des résines époxy pour une réfection sur chantier permette une telle opération controlée. Il faut dès lors tenir compte de la valeur de la température de transition sans recuit pour pouvoir juger de la qualité minimale d'une réfection effectuée à l'aide de ces résines.



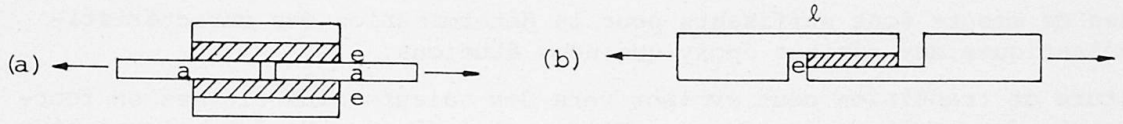
A titre d'illustration des effets de la température sur la rigidité des résines époxy, la figure 4 donne les courbes contrainte-déformation obtenues à vitesse de déplacement constante pour différentes températures.
On remarquera que $\sigma_{maximum}$ à 50°C est réduit d'environ 1/3 par rapport au $\sigma_{maximum}$ à 24°C.

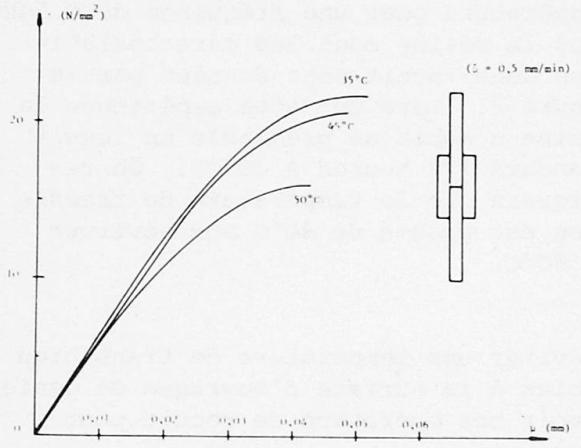
Il apparait également une déformation maximale plus grande à la contrainte de rupture pour des températures plus élevées.

La résistance d'un ensemble multicouche dont un des composants est une résine époxy diminuera en fonction de la température et sa rigidité sera également réduite.

3. ASSEMBLAGE COMPORTANT UNE COUCHE EPOXY - ADHESION

En vue d'étudier le comportement d'une multicouche, comportant des matériaux traditionnels de génie civil, (pierre, béton, acier, aluminium, bois), et une couche de résine époxy nous avons effectué un grand nombre d'essais de cisaillement sur base de deux types de sollicitation :





La figure 5 donne à titre d'exemple les courbes (τ,μ) en fonction de différentes températures pour le dispositif (a). Nous observons bien pour l'assemblage une diminution de la contrainte de rupture en fonction de la température croissante ainsi qu'une diminution de la rigidité de l'ensemble. Les résultats relatifs obtenus par des essais sur un dispositif de type (b) correspondent à ceux obtenus par le dispositif (a), sauf en ce qui concerne la rigidité d'ensemble qui est plus faible pour (b) que pour (a).

Lors des différents essais que nous avons effectués, nous avons également fait varier les caractéristiques géométriques des surfaces sur lesquelles la résine était appliquée, d'une surface lisse vers une surface rainurée.
Nous n'avons pas fait varier les conditions chimiques des surfaces en question.

L'introduction d'une surface rainurée ne donne pas des résultats meilleurs pour le comportement de l'assemblage, par rapport à des surfaces lisses.

Nous essayons actuellement d'introduire un état de surface quantifiable afin de déterminer son influence sur le comportement de l'adhésion et donc de l'assemblage.

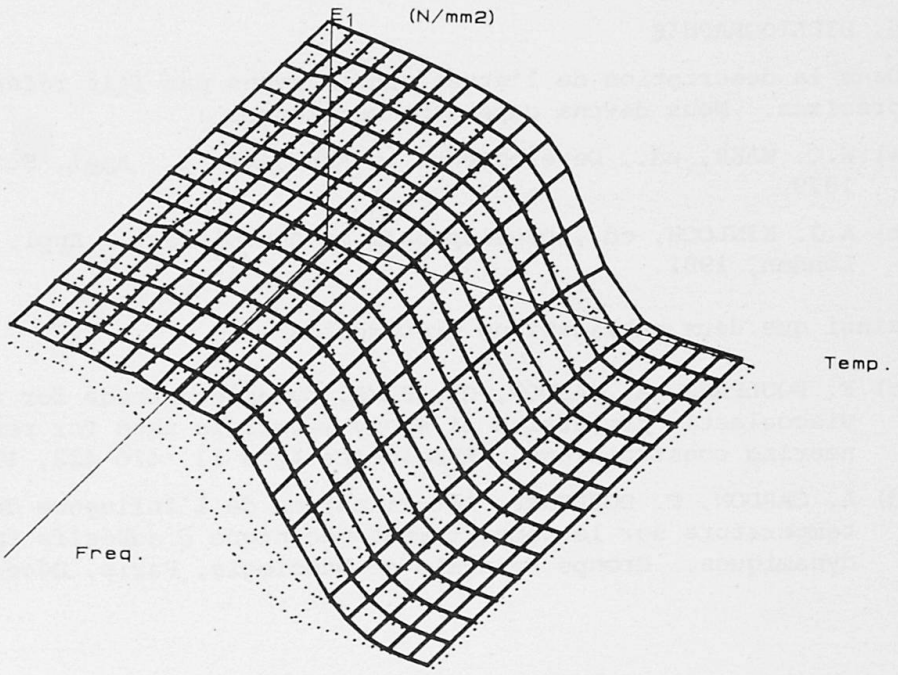
Nous étudions également l'influence de l'épaisseur e de la couche époxy sur le comportement de l'assemblage du point de vue rigidité et contrainte de rupture.

4. INFLUENCE DE L'HUMIDITE

Si un cycle de recuit permet d'augmenter la température de transition, une augmentation du degré d'humidité a un effet opposé.

La figure 6 donne à titre d'exemple la partie réelle du module complexe E_1, en fonction de la température et de la fréquence pour deux taux d'humidités.

Nous remarquons un déplacement d'ensemble sensible des surfaces $E_1(f,\theta)$ vers des plus basses températures lorsque le degré d'humidité augmente.



5. MECANISMES DE RUPTURE

Nous effectuons actuellement des essais avec des assemblages comportant différents matériaux reliés par une couche mince de résine époxy, afin d'examiner les différents mécanismes de rupture en fonction des caractéristiques des matériaux de support. La rupture peut se produire dans la couche époxy, dans le matériau de support ou le long de la surface d'adhésion.

Notre objectif est d'établir une correspondance entre le mécanisme de rupture et la nature du matériau de support, y compris son état de surface pour une résine époxy donnée.

6. CONCLUSIONS

Si une réfection à l'aide de résines époxy est aisée du point de vue réalisation, la réfection sera fonction du taux de contrainte que cet assemblage devra subir. L'influence de la température et de l'humidité sont importantes et il y a lieu de soigneusement étudier les conditions normales de fonctionnement de l'assemblage afin de choisir la résine adéquate et la préparation de surface nécessaire.

7. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Fonds de la Recherch Collective (F.R.F.C.) du Fonds National de la Recherche Scientifique Belge pour le support financier de l'ensemble de ces études.

Nous remercions vivement Mme Myriam BOURLAU pour le soin apporté à la dactylographie et M. Adrien VRIJDAG pour les figures.

8. BIBLIOGRAPHIE

Dans la description de l'étude nous n'avons pas fait référence à des publications précises. Nous devons cependant mentionner :

a) W.C. WAKE, ed., Developments in Adhesives 1. Appl. Science Publishers, London, 1979.

b) A.J. KINLOCH, ed., Developments in Adhesives 2. Appl. Science Publishers, London, 1981.

ainsi que deux publications précédentes :

c) F. BOULPAEP, A. CARDON, Cl. HIEL, Dynamic methods for the determination of the viscoelastic properties of epoxy materials used for refections of civil engineering constructions. Rheologica Acta 21, 420-422, 1982.

d) A. CARDON, F. BOULPAEP, Détermination de l'influence de l'humidité et de la température sur le comportement mécanique d'adhésifs époxy par des méthodes dynamiques. Groupe Français de Rhéologie, Paris, Décembre 1982.