

MÉTHODE D'ESSAI DE VIEILLISSEMENT DES PLASTIQUES RENFORCÉS SOUS CONTRAINTE

Par Zdenek P. BAZZANT^{1, 2} et Lumir SKUPIN²

Les essais de vieillissement des plastiques renforcés étaient faits jusqu'à présent avec des éprouvettes non-chargées pendant leur exposition. Cependant, on a trouvé que la dégradation progresse beaucoup plus vite, si les éprouvettes sont exposées sous contrainte. Donc, les essais sur les éprouvettes non-chargées ne sont justifiés que pour les constructions soumises à une faible charge permanente.

Le but de cette contribution est d'informer les spécialistes brièvement sur une nouvelle méthode d'essai de vieillissement des plastiques renforcés sous charge, qui a été élaborée par les auteurs à l'Institut de construction à Prague. (Pour l'information détaillée voir 3).

Dans cette méthode on utilise des éprouvettes parallépipédiques, fléchies en arc et fixées à leurs extrémités entre deux appuis (figure 1). La relaxation des contraintes dans l'éprouvette est donnée par la relaxation de la force aux appuis. Selon la diminution de la force produite par une mise en charge instantanée, on peut déterminer la diminution du module d'élasticité due à la dégradation.

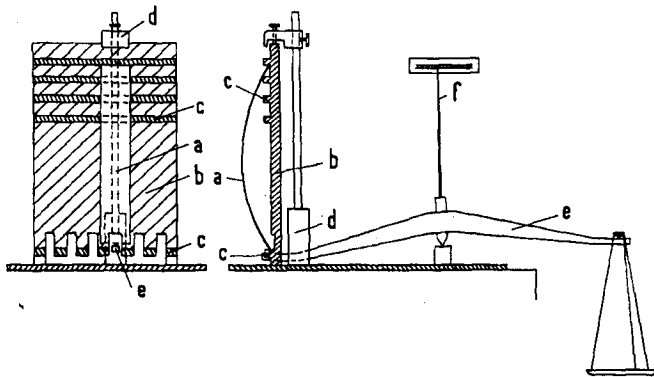


Figure 1 : Balance pour la mesure de la force de l'arc aux appuis (a-la bande, b-la plaque, c-appuis, e-levier de balance passant par l'espace dans la plaque, f-indicateur).

Une évaluation simple de ces données est possible grâce au fait que la loi du fluage des plastiques ainsi que des plastiques renforcés est en principe linéaire, alors que le changement de la forme de l'arc dans le temps est négligeable. L'avantage de cette méthode réside dans le fait que les éprouvettes peuvent avec leurs appuis être facilement placées, en état de contrainte dans les différents environnements; bains agressifs, boîtes à climatisation etc... Grâce aux essais effectués on a déterminé l'influence des milieux agressifs différents sur la rigidité et la résistance sous charge des plastiques renforcés.

Une méthode simple de mesure de la force aux appuis de l'arc est présentée par la figure 1. L'arc est ap-

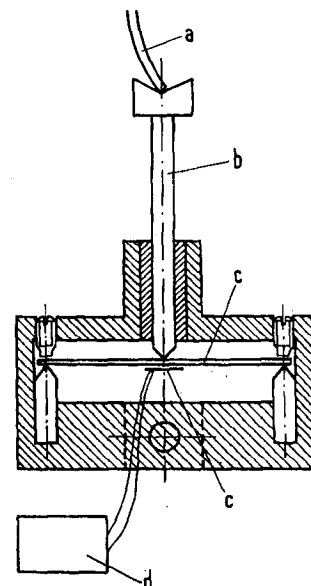


Figure 2 : Dynamomètre pour la mesure de la force de l'arc encastré (a-la bande, b-la tige de capteur, c-ressort dynamométrique, d-la jauge électrique, e-pont de Wheatston).

puyé sur une plaque rigide et à l'instant choisi la force de l'arc est mesurée par une méthode de compensation sur une balance, en extrapolant la valeur des forces nécessaires pour obtenir certains petits raccourcissements de portée (par ex. 1 mm et 2 mm), pour lesquels les extrémités de l'arc sont totalement libérées des appuis, sans aucun frottement. En même temps, à partir de ces valeurs on peut déterminer le module tangent instantané de l'éprouvette.

Au lieu de la balance on peut utiliser aussi un dynamomètre assez rigide, par exemple, avec une jauge électrique (figure 2). Comme palpeur du dynamomètre, on utilise une tige qui passe par un trou dans le

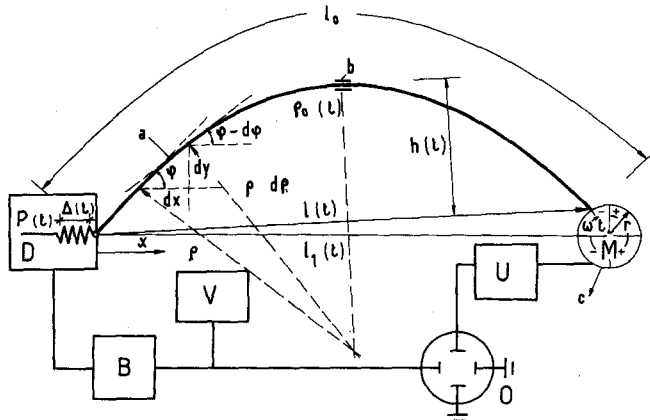


Figure 3 : Disposition des éprouvettes (a-éprouvette parallépipédique, D-dynamomètre, M-moteur synchrone, V-voltmètre, B-pont de Wheatston, O-oscilloscope, b-élément thermique).

support pour pouvoir s'appuyer aux extrémités de l'arc. Cette deuxième méthode, avec l'arc appuyé constamment sur le dynamomètre à une extrémité, peut être aussi utilisée dans un essai dynamique avec déformation pulsante (figure 3).

Compte tenu de la linéarité de la loi de fluage la forme géométrique de l'arc est pratiquement invariable dans le temps et on peut la calculer comme la ligne de flexion finie d'un poteau élastique. Le problème mène aux intégrales elliptiques: leur évaluation est proposée (1), (4), par le tableau 1, qui donne toutes

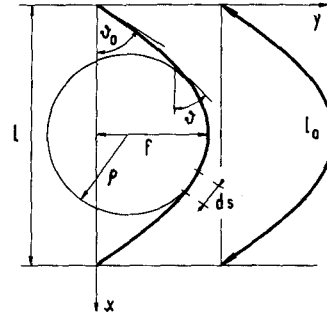


Figure 4 : Géométrie de l'arc de l'éprouvette fléchi (la courbe "élastica").

les caractéristiques géométriques de la courbe de l'arc, appelée "élastica".

Le module de relaxation au temps t est donné par la formule : (1)

$$E_{rel}(t) = P(t) h \rho / I$$

où P(t) est la force de l'arc au temps t et I est le moment d'inertie de la section. Le module instantané correspondant à un petit changement de force dP et le raccourcissement dl de la portée de l'arc est : (2)

$$E = \frac{h l_0^2}{I} \frac{dP}{dl} \frac{d(l/l_0)}{d(l_0/\rho)}$$

Le module correspondant à un grand changement de la portée de l'arc est : (4)

$$E = \frac{l_0 (P_2 h_2 - P_1 h_1)}{I (l_0/\rho_2 - l_0/\rho_1)}$$

où h₁, rho₁, P₁ et h₂, rho₂, P₂ sont les valeurs initiales et les valeurs changées. Les contraintes normales dans les fibres extrêmes sont : (5)

$$\sigma = - \left(\frac{-\cos y}{F} \pm \frac{y d}{2l} \right) P$$

où d est l'épaisseur du stratifié et F la surface de la

l_0/ρ	$\Delta l_0/\rho$	X/l_0	l/l_0	δ	$d(l/l_0)^*/d(l_0/\rho)$	l_0/ρ	X/l_0	l/l_0	δ	$d(l/l_0)^*/d(l_0/\rho)$
0	0,198	0	1,000	0		3,801	0,3221	0,680	67,18°	
0,198	0,198	0,0200	(0,998)	3,60°		4,071	0,3363	0,640	71,60°	
0,396	0,198	0,0400	(0,995)	7,20°	0,0175	4,330	0,3486	0,600	75,79°	0,154
0,594	0,199	0,0600	(0,991)	10,85°	0,0280	4,589	0,3596	0,560 E	79,92°	0,155
0,792	0,201	0,0800	(0,984)	14,50°	0,0395	4,845	0,3690	0,520	83,93°	0,156
1,000	0,204	0,1000	0,975	18,20°	0,0500	5,100	0,3772	0,480	87,80°	0,157
1,207	0,207	0,1200	(0,963)	20,94°	0,0605	5,355	0,3842	0,440	91,65°	0,158
1,418	0,211	0,1400	(0,948)	25,75°	0,0715	5,608	0,3899	0,400	95,37°	0,158
1,634	0,216	0,1600	(0,932)	29,63°	0,0820	5,860	0,3945	0,360	98,99°	0,157
1,856	0,222	0,1800	(0,912)	33,60°	0,0910	6,116	0,3981	0,320	102,57°	0,155
2,086	0,230	0,2000	0,891	37,69°	0,1000	6,382	0,4007	0,280	106,20°	0,151
2,325	0,239	0,2200	(0,866)	41,91°	0,1080	6,649	0,4023	0,240	109,75°	0,148
2,575	0,250	0,2400	(0,838)	46,30°	0,1150	6,921	0,4030	0,200	113,25°	0,145
2,839	0,264	0,2600	(0,806)	50,89°	0,1200	7,202	0,4027	0,160	116,75°	
3,121	0,282	0,2800	(0,772)	55,48°	0,1275	7,498	0,3988	0,120	120,32°	
3,427	0,306	0,3000	0,734	60,94°	0,1250	8,445	0,3913	0,000	130,72°	
3,765	0,338	0,3200	(0,692)	66,58°						
4,148	0,383	0,3400	(0,648)	72,85°						
4,602	0,454	0,3600	(0,602)	80,11°						

() obtenu par une interpolation graphique

*) la dernière place est seulement approximative

section. La contrainte due seulement à la flexion s'exprime aussi comme : (6)

$$\sigma = \pm \frac{1}{2} E d / \sigma$$

En tant que dégradation du matériau nous entendons la diminution des paramètres mécaniques dans le temps. En principe il faut distinguer la fonction de dégradation du module : (7)

$$\Phi_E(t) = E(t) / E(0)$$

et la fonction de dégradation de la résistance : (8)

$$\Phi_\delta(t) = \sigma_\delta(t) / \sigma_\delta(0)$$

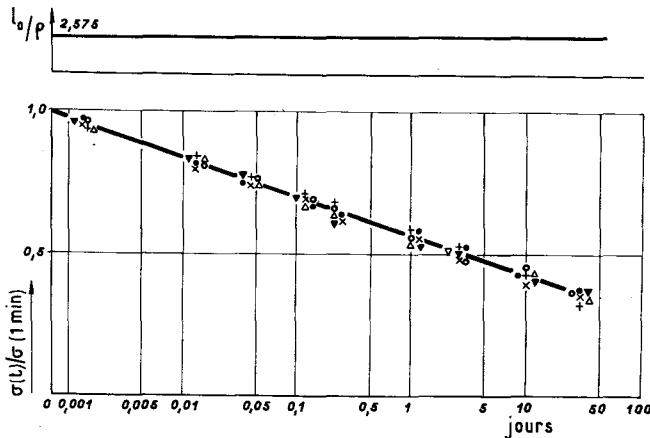


Figure 5 : Exemple de la dispersion des mesures à l'aide de la balance de la relaxation des contraintes sur 6 éprouvettes (température 21°C, humidité relative 50 %, polyester Chs-104 renforcé par 5 couches de tissu de verre "plast 350", sollicitation oblique de 45° par rapport aux fibres, dimensions des éprouvettes : 2 x 40 x 360 mm, l/l₀ = 30/36).

où $\sigma_\delta(t)$ est la résistance de longue durée, c'est-à-dire la contrainte pour laquelle la rupture se produit dans le temps t . La fonction $\Phi_E(t)$ indique la diminution des charges critiques, la fonction $\Phi_\delta(t)$ celle des charges de ruptures. Les méthodes non-destructives pour mesurer la dégradation doivent être basées sur la fonction $\Phi_E(t)$, qui peut être déterminée par la rigidité de l'arc, si l'on introduit certaines hypothèses sur le cours de la dégradation chimique (environnement agressif) ou physique (rayonnement) au travers de l'épaisseur de l'éprouvette (3), ainsi qu'une hypothèse sur la dépendance entre la dégradation mécanique de la contrainte et la température par exemple en faisant intervenir la formule de ZHURKOV (3). Le rapport entre $\Phi_E(t)$ et $\Phi_\delta(t)$ est compliqué et on devra l'évaluer surtout de façon statistique. Supposons que, pour une éprouvette infiniment courte, les fonctions $\Phi_E(t)$ et $\Phi_\delta(t)$ sont égales il faut que : (9)

$$\Phi_\delta(t) \leq \Phi_E(t)$$

puisque $\Phi_E(t)$ dépend de la valeur moyenne de la

dégradation dans l'éprouvette, tandis que $\Phi_\delta(t)$ dépend de la formation et de la propagation d'une fissure dans l'éprouvette. L'inégalité (9) sert alors comme limite supérieure de $\Phi_\delta(t)$. Si la dégradation chimique est dominante et la dégradation mécanique est secondaire, la dégradation progresse assez uniformément dans toutes les sections de l'éprouvette et par conséquent: (10) $\Phi_\delta(t) \approx \Phi_E(t)$

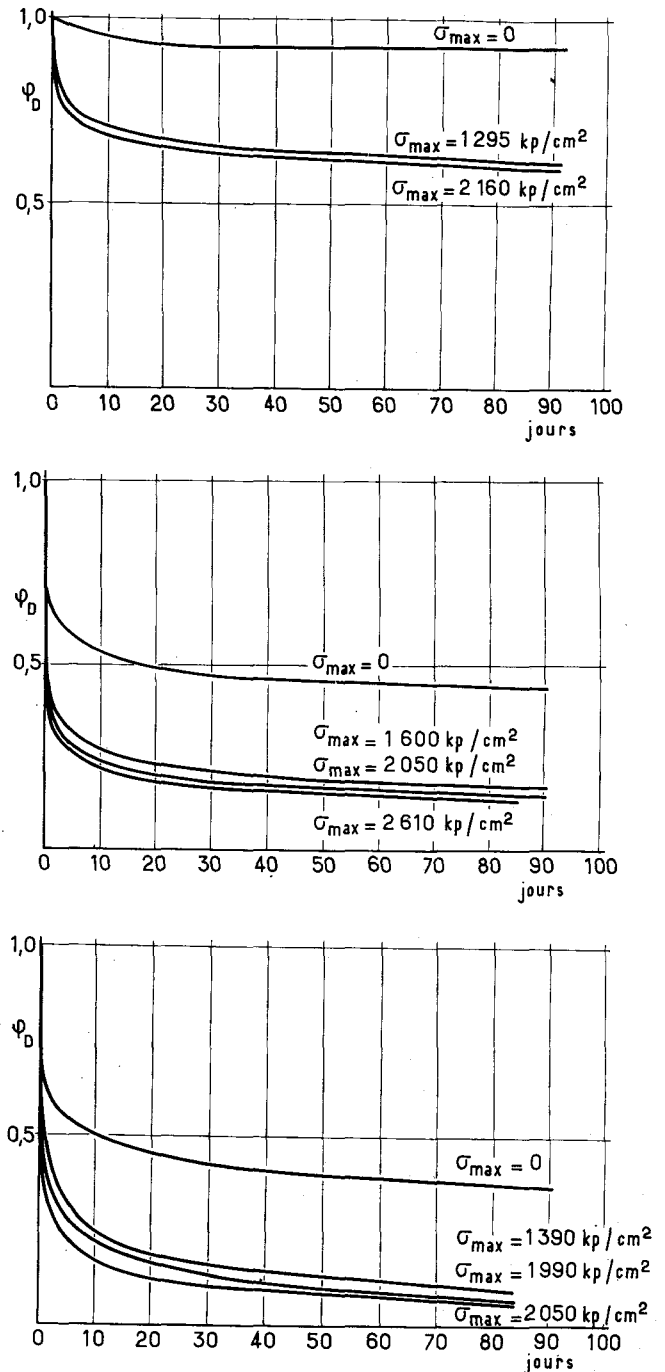


Figure 6 : Courbes de dégradation des plastiques renforcés d'après figure 5), sollicitation parallèle aux fibres, a-dans l'air à 20°C, b-dans l'eau à 20°C, c-dans une solution à 15 % de H₂SO₄ à 20°C.

La dégradation chimique se propage à partir de la surface du matériau. La dégradation mécanique par flexion est maximum à la surface (et nulle dans le plan moyen). De là il s'en suit que la dégradation doit être relativement plus intense pour la flexion que pour la traction ou la compression, ce qui est aussi un avantage des essais sur les éprouvettes fléchies. Notons encore que sur les éprouvettes fléchies peuvent apparaître deux types de rupture: par fissure transversale dans la partie tendue de l'éprouvette fléchie et par fissure longitudinale ou bien la délamination dans la partie comprimée.

Pour déterminer plus sûrement $\Phi_{\delta}(t)$ il est inévitable d'effectuer des essais destructifs, bien que ce soit plus laborieux et exige plus d'éprouvettes. Pour éviter d'attendre le moment de la rupture spontanée sous contrainte constante, il vaut mieux, quoique l'évaluation soit plus compliquée, après un certain temps d'exposition sous charge permanente, produire la rupture par l'augmentation instantanée de la flexion de l'éprouvette. Dans ce but on peut se servir de l'appareil décrit figure 7. Dans ce procédé, ainsi que pour mesurer la variation des contraintes pendant le chargement, il est nécessaire de faire au préalable une certaine hypothèse sur la forme de la dépendance de la dégradation en fonction de la variation des contraintes (3).

Pour réduire la durée des essais, il faut faire des essais de dégradation accélérée. Par rapport aux essais de dégradation naturelle, on a proposé certaines évaluations (3).

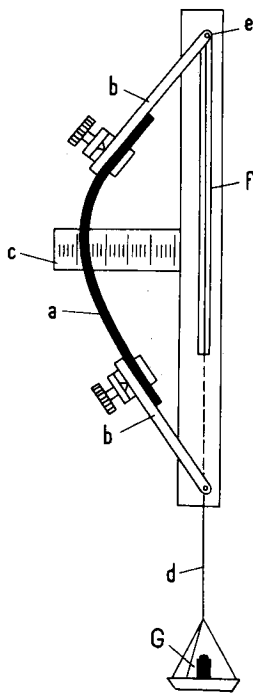


Figure 7 : Appareil pour essais de rupture instantanée après un certain temps de relaxation (a-éprouvette, b-levers rigides, c-échelle de mesure, e-articulation, f-rail-guide, g-poids.

LITTERATURE

- (1) BAZANT, Z.P. : Stress relaxation testing of plastics and fibre-glass plastics. Proceedings the Conf. on Experimental Methods of investigating Stress and strain in structures, Prague, 5-8 Octobre 1965, Institut de construction, Ecole polytechnique de Prague, p 797-809.
- (2) SKUPIN, L. : Prüfung der Lebensdauer von Kunststoffen, Plastverarbeiter 1965, n°9, p. 527; 1966, n°6 page 352.
- (3) BAZANT, Z.P. - SKUPIN, L. : Prüfung von Relaxation und Dauerstandfestigkeit unter Spannung, II. Internationale Tagung über GFK und Giessharze, E/4, Inst. Org. Hoch polymere, DAW, Berlin, 13-18 Mars 1966.
- (4) BAZANT, Z.P. : Essais de relaxation des contraintes dans les plastiques renforcés (en tchèque). Rapport de recherche, n° 79/66, Institut de construction, Ecole Polytechnique de Prague, 1966.

RESUME ALLEMAND

SPANNUNGSALTERUNGSPRÜFVERFAHREN DER VERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFE Von Zdenek P. Bazant und Lumir Skupin.

Die Durchführung von Alterungsversuchen mit Glas- Harz-Proben, die nicht einer Spannung ausgesetzt werden, ist nur für Anwendungen die einer geringen Dauerlast unterliegen, vertretbar.

Eine neue, von den Verfassern entwickelte Versuchsmethode besteht in der Anwendung von kleinen, zwischen zwei Stützpunkten gewölbten Laminatproben. Die sich in dem Prüfling bildenden Spannungsänderungen werden durch die auf die Stützpunkte ausgeübten Kraftveränderungen angezeigt. Diese Methode ermöglicht ohne weiteres eine Durchführung der Versuche in den verschiedensten Umgebungen.

RESUME ANGLAIS

AGEING TEST METHOD OF REINFORCED PLASTICS UNDER STRESS BY Messrs. Zdenek, P. Bazant and Lumir Skupin.

The ageing tests made with glass/resin test bars without stress are only justified for constructions subject to weak permanent loadings.

A recently developed test method by the authors consists in using small test laminates, curved between two bearings. The variation of the stresses in the laminate is given by the variation of the strength applied on these bearings. This method allows to execute easily tests in various surroundings.