Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 45 (1954)
Heft: 22

Artikel: Quelques données sur les dernières matières isolantes diélectriques
Autor: Nigg, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058841

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: 13.01.2026

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

Quelques données sur les dernières matières isolantes diélectriques

Conférence donnée à la 13e Journée Suisse de la technique des télécommunications, du 18 juin 1954 à St-Gall,

par *H. Nigg*, Altdorf

621.315.61

Après avoir donné un bref aperçu sur les divers isolants employés couramment dans l'industrie, l'auteur met en évidence les propriétés des caoutchoucs silicones, des polyéthylènes solide et cellulaire, ainsi que du Teflon et de l'Hostaflon qui prennent une importance de plus en plus grande dans la pratique, malgré leur prix élevé et les difficultés de fabrication.

Nach einer kurzen Übersicht über die zur Zeit in der Industrie allgemein verwendeten Isoliermaterialien werden die Eigenschaften der Silikon-Kautschuke, des festen und schaumförmigen Polyäthylens, sowie des Teflons und des Hostaflons näher beschrieben. Diese neuen Isoliermaterialien erlangen mehr und mehr Bedeutung für die praktische Anwendung, trotz ihrem recht hohen Preis und gewissen Herstellungsschwierigkeiten.

Introduction

Le développement de l'industrie électrique au cours des dernières années, est dû à une association aussi bien de corps conducteurs que de corps isolants en vue de la production, du transport et de l'utilisation de l'électricité. Les corps isolants sont, au contraire des corps conducteurs, très nombreux et voient leur nombre augmenter constamment. Tout progrès dans le domaine des isolants conduit à de nouvelles applications de l'électricité et permet de nouvelles réalisations.

Les nouvelles résines synthétiques permettent non seulement d'obtenir des isolants de qualités égales ou supérieures à celles des isolants anciens, mais elles sont aussi capables de satisfaire aux exigences accrues de la technique. Un exemple frappant est celui des diélectriques pour très hautes fréquences, ce qui explique le succès du polyéthylène, du polystyrène etc. Un autre avantage réside dans une plus grande régularité des propriétés présentées par les produits de synthèse.

Aucun isolant n'est actuellement capable de réunir la totalité des qualités désirables. Le choix d'un isolant synthétique devient donc une sorte de compromis.

Un isolant artificiel idéal devrait, semble-t-il, réunir les propriétés suivantes:

posséder de faibles pertes diélectriques (être non-polaire);
être thermoplastique pour faciliter la mise en œuvre;
avoir une grande résistance aux agents chimiques, à l'abrasion, au vieillissement et posséder des propriétés mécaniques élevées;
application dans un domaine de température aussi large que possible.

Quelques matières isolantes importantes avec propriétés diélectriques

Tableau I

Isolant	Poids spécifique g/cm³	Constante diélectrique ($\varepsilon air = 1$)	Tangente de l'angle de pertes à 1 MHz	Résistance spécifique Ωcm
Cellulose d'acétate	1,30...1,35	4...7	≈0,03	10^{11}
Cellulose d'éthyle	1,14	2,6...3,9	≈0,02	10^{15}
Verre	2,4...3,2	5...10	0,01	$>10^{13}$
Stéatite (masse céramique)	2,6...2,8	5,5...6,5	0,002	$>10^{12}$
Huile minérale	0,9	2...3		$>10^{12}$
Papier	1,0...1,2	2,0...2,5	0,003	$>10^{17}$
Nylon (Polyamide)	1,13	4...6	0,03	$>10^{11}$
Caoutchouc brut	0,92	2,5	0,003	$>10^{16}$
Polystyrène	1,05...1,09	2,3...2,8	0,004	$>10^{17}$
Copolymère (chlorure-acétate)	1,35	3,2	0,015	$>10^{12}$
Néoprène brut	1,24	3		10^{13}
Polyisobutylène	0,92	2,3	0,0005	$>10^{15}$
Chlorure de polyvinyle	1,40	3...4	0,07	$>10^{12}$
Silicone (Elastomère)	1,20	3,4	0,004	$>10^{13}$
Polyéthylène	0,92	2,3	0,0004	10^{16}
Teflon	2,1...2,3	2,0	<0,0002	10^{16}

Ces conditions paraissent contradictoires, car pour avoir les meilleures propriétés mécaniques, il est nécessaire d'avoir des groupes polaires pour créer les liaisons transversales, et pour obtenir un bon diélectrique, il faut avoir une structure symétrique donc non-polaire.

Si l'on passe en revue la majeure partie des matières isolantes, nous obtenons le tableau des propriétés diélectriques [1][1]) (tableau I).

Matériaux isolants courants

Rappelons brièvement la place toujours plus grande prise aujourd'hui par les isolations en chlorure de polyvinyle, en caoutchouc butyle et néoprène. Grâce à leurs propriétés spéciales, ces matériaux remplacent, dans une large mesure, les isolations en caoutchouc naturel.

Le néoprène se distingue du caoutchouc naturel par une meilleure résistance à l'oxygène, à l'ozone et aux huiles végétales et minérales, une bonne résistance à des températures de l'ordre de 90 °C jusqu'à 110 °C ainsi que par son inflammabilité. Sa solidité à la lumière est par contre assez faible. Les mélanges clairs brunissent rapidement, ce qui n'a toutefois aucune influence sur les valeurs diélectriques.

Le caoutchouc butyle est un copolymère d'isobutylène et d'isoprène dans une proportion de 98 parties d'isobutylène pour 2 parties d'isoprène environ. Il résiste aux acides forts, à l'oxygène, à l'ozone, à la lumière; il a également un excellent comportement vis-à-vis de la chaleur (90...110 °C) pour une longue durée. Son imperméabilité aux gaz est excellente. Le diélectrique est très bon et comparable à celui du caoutchouc naturel.

Les isolations en chlorure de polyvinyle [2] présentent une bonne résistance à la flamme, aux agents chimiques, à l'ozone, à la chaleur, un excellent vieillissement naturel, une très faible absorption d'eau, une certaine résistance aux moisissures. Le plus souvent, les propriétés électriques des matières plastiques sont suffisantes et parfois elles sont excellentes. Les températures élevées sont l'ennemi des matières plastiques, car dans ces conditions, soit leurs propriétés électriques, soit leurs propriétés mécaniques sont amoindries.

[1]) voir la bibliographie à la fin de l'article.

Silicones

Ces composés organo-siliciques se caractérisent quant à leur structure chimique par les deux points essentiels suivants [3]:

1° le noyau moléculaire comporte toujours l'association Si-O;
2° il y a toujours sur chaque atome de silicium au moins une liaison directe Si-C.

La liaison Si-C apporte une résistance très grande à l'oxydation, renforcée d'ailleurs par la stabilité à haute température de la liaison Si-O.

Les caoutchoucs silicones se différencient des caoutchoucs naturels ou synthétiques, par le fait qu'au lieu d'une vulcanisation de ces derniers, il est nécessaire de réaliser une polymérisation des macromolécules pour obtenir l'élasticité. Les élastomères silicones résistent d'ailleurs aussi bien à haute température, à 170 °C en régime permanent, à 250 °C pour un temps limité, qu'à basse température ≈ —85 °C. Ils peuvent être colorés au moyen de pigments résistant eux-mêmes à la chaleur. Par l'addition de charges appropriées, on peut modifier à volonté les propriétés de l'élastomère brut. Il est actuellement possible d'obtenir des produits finis ayant une dureté de 10 jusqu'à 90 Shores[1]). Parmi toutes les charges essayées, ce sont les silices fines qui donnent les meilleurs résultats, les kaolins et les noirs employés dans la fabrication des mélanges de caoutchouc n'étant pas du tout satisfaisants. Les mélanges se font sur des cylindres à caoutchouc à une température inférieure à 50 °C.

Les produits moulés ou extrudés sont soumis à une première cuisson, pour les premiers dans une presse à étages à une température de 135 °C pendant 15 min et pour les seconds dans un autoclave à 150 °C pendant le même laps de temps. Dans ce dernier cas, la vulcanisation continue est mieux appropriée et confère au produit fini de meilleures qualités. La recuisson en étuve sèche est absolument indispensable, pour parfaire la polymérisation; elle se fait à une température de 200...250 °C pendant 1...24 h suivant les propriétés finales désirées.

Les caractéristiques d'un caoutchouc silicone varient selon les charges additionnées et le procédé de fabrication; elles sont de l'ordre de grandeur suivant:

a) *Caractéristiques mécaniques:*

Résistance à la traction . . .	kg/cm²	40...60
Allongement à la rupture . . .	%	200...400
Résistance au déchirement .	kg/cm	5
Point de fragilité	°C	—85

b) *Caractéristiques physiques:*

Absorption d'eau après 7 jours d'immersion à température ambiante . .	%	1...10 suivant la nature des charges
Vieillissement à la chaleur		Après 70 h en four à 175 °C / à 230 °C
Changement de résistance à la traction	%	— 10 / — 20
Changement dans l'allongement . . .	%	— 10 / — 15

c) *Caractéristiques électriques:*

Rigidité diélectrique	kV/mm	15...25
Constante diélectrique		2,5...3
Tangente de l'angle de pertes		0,0010...0,0040
Résistance d'isolement selon la température et la durée de la recuisson	Ω/cm	10^{13}...10^{15}

d) *Résistance aux agents chimiques:*

Acides et bases dilués	bonne
Solvants	mauvaise
Ozone	bonne

La résistance à l'effet corona est fortement améliorée par l'addition aux mélanges de quelques % de noir de fumée.

Les usages électriques:

Fabrication de câbles pouvant résister à haute ou à très basse température ne présentant pas les variations de résistance d'isolement en fonction de la température, comme c'est le cas généralement pour les élastomères usuels ou les matières plastiques. Un autre avantage de ces câbles est qu'en cas d'incendie, les élastomères silicones détruits par le feu laissent un gainage de silice qui reste isolant même pendant la combustion. On peut encore améliorer la non-combustion de ces élastomères en introduisant des charges spéciales dans les mélanges, telles que du borate de zinc, de l'oxyde de bismuth;

Joints d'étanchéité pour toutes pièces détachées électriques;
Interrupteurs et contacteurs d'aviation;
Condensateurs ou transformateurs étanches;
Pièces isolantes élastiques nécessaires pour appareils chauffants;
Câbles chauffants.

La tenue à la température peut être encore améliorée jusqu'à 300 °C en ajoutant aux charges habituelles un peu de noir de fumée et un agent vulcanisant, le peroxyde de benzoyle. Ce mélange garde même à très haute température une rigidité diélectrique de l'ordre de 25 kV/mm et une tangente de l'angle de pertes inférieure à 0,004. Il intéresse donc surtout l'électrotechnique et la radiotechnique (hautes tensions et hautes fréquences) pour les appareils travaillant à haute température ou situés au voisinage de rayonnements calorifiques intenses (transformateurs et émetteurs par exemple).

Comme on le voit, les problèmes à résoudre exigent différentes compositions. Toutefois, en raison de leur prix élevé, les silicones élastomères sont pour le moment réservés à des utilisations particulières et bien définies.

Polyéthylène

Le polyéthylène a été découvert il y a 20 ans en polymérisant l'éthylène gazeux sous de hautes pressions de l'ordre de 10 000 kg/cm² à des températures élevées. Il est fabriqué principalement aux Etats Unis par Du Pont de Nemours, l'Union Carbide and Carbon Corporation et en Angleterre par l'ICI.

Rappelons brièvement ses principales propriétés:

Polymère en majeure partie cristallin, flexible à basse température, possède un bon diélectrique grâce à sa structure non-polaire. Diffusion de vapeur d'eau très faible, fond vers 110°...115°C en un liquide visqueux. Par polymérisation de l'éthylène, on obtient toute une série de produits allant des gaz aux liquides, substances graisseuses, cires, pour finir aux polyéthylènes. La variation de la longueur moyenne des chaînes est la cause de la différence des propriétés. Le tableau ci-dessous montre comment la résistance à la traction, l'allongement à la rupture et la flexibilité à basse température dépendent fortement du poids moléculaire; le point de fusion se comporte de la même façon (sauf pour les polymères solides):

[1]) La dureté Shore d'une matière est la résistance qu'elle oppose à la pénétration d'un poinçon ou d'une bille par exemple. Il existe dans la pratique divers types de duromètres, tous basés sur le même principe: un poids ou un ressort provoque l'enfoncement d'un corps solide (poinçon, bille, etc.) dans un échantillon à examiner; on lit la pénétration amplifiée par un système approprié au bout d'un temps déterminé. Le duromètre Shore a une échelle de 0 à 100 permettant de mesurer des matières infiniment tendres (0 Shore) ou infiniment dures (100 Shores).

Poids molécul. moyen	44000	37000	32000	28000	24000
Résistance à la rupture . . . . kg/cm²	175	160	155	130	110
Allongement à la rupture . . . . %	>600	>600	550	500	460
Résistance au froid °C	−100	− 80	− 70	− 40	− 30
Types N° (d'après ICI)	0,2	0,7	2	7	20

Le polyéthylène ne constitue pas une chaîne toute droite, il contient quelques groupes méthyle. Cette structure moléculaire détermine le degré de cristallinité du polymère et par conséquent les propriétés comme la dureté superficielle, la rigidité et la résistance aux solvants organiques. Le polyéthylène ne cristallise qu'incomplètement; l'enchevêtrement des longues chaînes qui le constituent empêche qu'une partie des groupements CH_2 s'ordonnent en un réseau: il en résulte que, dans le solide, il subsiste des régions amorphes. Par suite de cette structure en grande partie cristalline, il devient cassant à basse température. Combiné avec des isobutylènes (Vistanex, Oppanol) qui ont à peu près les mêmes caractéristiques électriques, on peut obtenir un produit avec une flexibilité très grande, même à basse température. Ces isobutylènes jouent le rôle de plastifiants non-migrateurs. Le polyéthylène offre une certaine résistance à l'action des rayons ultraviolets et à la lumière.

De gros efforts sont faits pour élever le point de ramollissement du polyéthylène. La firme Du Pont a développé l'Hypalon S-2 en faisant agir du chlore et de l'anhydride sulfureux sur du polyéthylène [4]. Il est ainsi substitué à chaque sixième ou septième groupe méthylène un atome de chlore à un atome d'hydrogène et à tous les cent atomes de carbone un groupe sulfochlorure qui peut réagir avec des oxydes métalliques, ce qui donne lieu à une liaison $SO_2 — 0 — SO_2$. Ce procédé correspond à la vulcanisation du caoutchouc par le soufre, aussi l'Hypalon entre-t-il plutôt dans la classe des caoutchoucs synthétiques et non dans celle des thermoplastes. La plus remarquable propriété de l'Hypalon S-2 est l'insensibilité totale à l'action de l'ozone.

Une autre possibilité d'améliorer la tenue à la chaleur du polyéthylène a été découverte en bombardant celui-ci de rayons gamma de grande intensité [5] afin d'obtenir des liaisons latérales.

La firme américaine General Electrical Co. espère obtenir cette amélioration en employant des rayons électroniques de l'ordre de 1 MV.

Polyéthylène cellulaire [6]

Le polyéthylène a eu au début et a encore aujourd'hui pour usage principal l'isolation électrique. Pour certaines applications exigeant des pertes diélectriques encore plus faibles que le polyéthylène, l'Union Carbide and Carbon Corporation a développé un matériel capable de donner une mousse sous une forme cellulaire.

En combinant le polyéthylène qui a une constante diélectrique de 2,3 avec un agent gonflant libérant un gaz inerte avec une constante diélectrique approximative de 1,0, on obtient une matière ayant une constante diélectrique de 1,5 environ.

Pour obtenir ce nouveau polyéthylène cellulaire, on disperse intimement dans le polyéthylène normal un agent chimique gonflant qui libère un gaz à une température déterminée. Le choix correct de cet agent est très important, celui-ci devant répondre à plusieurs exigences. Ainsi, aussi bien l'agent lui-même que le gaz qu'il dégage ou les résidus qu'il laisse dans le polyéthylène ne doivent pas absorber de l'humidité, sous peine d'influencer défavorablement les valeurs diélectriques du polyéthylène. Le résidu sera autant que possible non-polaire pour la même raison que ci-dessus. En principe, on choisira un agent qui libérera de grandes quantités de gaz et ne donnera qu'un résidu aussi petit que possible.

Comme l'agent ne doit libérer son gaz qu'à des conditions bien déterminées, le procédé de fabrication ayant donné jusqu'à maintenant le plus de satisfaction est le boudinage, puisqu'on peut y maintenir une pression constante. Cette pression devra être suffisante pour empêcher l'expansion du gaz libéré avant qu'il ne sorte de la matrice. Un polyéthylène cellulaire bien formé aura une surface lisse, des pores de dimensions égales et une structure unicellulaire, chaque cellule étant isolée.

Le produit final devra avoir une densité d'environ 0,47 c'est-à-dire qu'on aura une expansion du polyéthylène de 100 %. On choisira la dimension de la matrice avec la formule suivante:

$$D = \sqrt{2\,D_1^2 - d^2}$$

ou

D diamètre final
D_1 diamètre de la matrice
d diamètre du fil ou de l'âme

Propriétés générales

Le 50 % du polyéthylène cellulaire étant du gaz, il est facile d'en déduire que certaines propriétés du polyéthylène seront amoindries et d'autres améliorées.

Comparaison des propriétés du *polyéthylène solide* et du *polyéthylène cellulaire:*

		Polyéthylène solide	Polyéthylène cellulaire
Résistance à la rupture . . .	kg/cm²	150	45
Allongement à la rupture . .	%	580	310
Rigidité diélectrique	V/mm	630	220
Poids spécifique		0,92	0,47
Tangente de l'angle de pertes à 1000 Hz		0,00028	0,00033
Constante diélectrique à 1000 Hz		2,3	1,48

Ainsi la résistance à la rupture, l'allongement à la rupture et la rigidité diélectrique sont diminués dans une assez forte mesure, par contre la constante diélectrique est fortement améliorée et les pertes diélectriques sont moindres. D'autre part, le poids spécifique est réduit de moitié, ce qui est un facteur économique important.

Absorption d'humidité

Le polyéthylène cellulaire a une structure unicellulaire, donc chaque bulle d'air est enfermée dans une enveloppe de polyéthylène; en conséquence, la perméabilité à l'humidité est à peu près la même pour le polyéthylène cellulaire que pour le polyéthylène solide.

Les figures 1 et 2 montrent le % d'humidité absorbée par les échantillons de polyéthylène et de polyé-

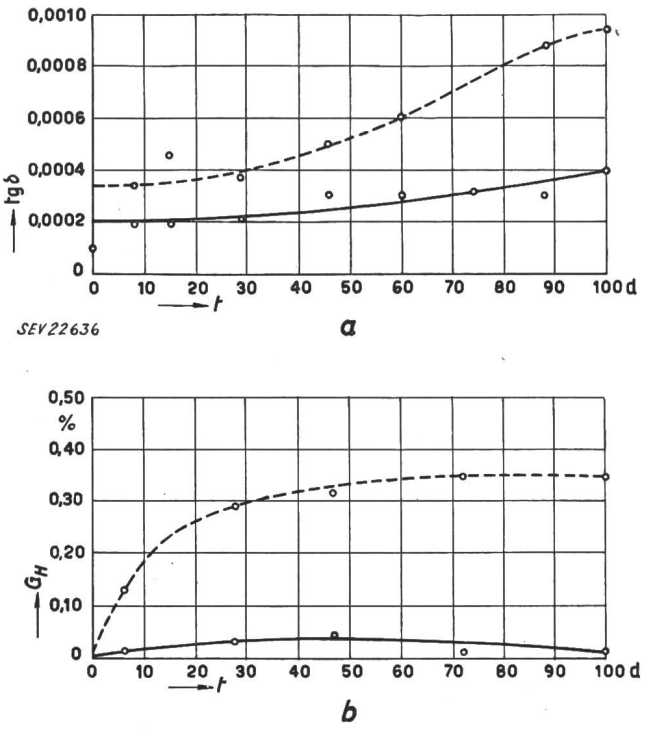


Fig. 1
Angle de pertes et Humidité absorbée
a Angle de pertes diélectriques tg δ pour 1 MHz en fonction de la durée d'immersion t dans de l'eau potable à 23 °C
b Humidité absorbée G_H en fonction de la durée d'immersion t dans de l'eau potable à 23 °C
—— Polyéthylène solide ––– Polyéthylène cellulaire

thylène cellulaire après une immersion de 100 jours dans de l'eau à 25 °C, ainsi que les effets de cette immersion sur la constante diélectrique. Ce test est très sévère et les graphiques indiquent bien que ce nouveau matériel donnera de bons résultats dans un milieu alternativement sec et humide, qu'on rencontre très souvent.

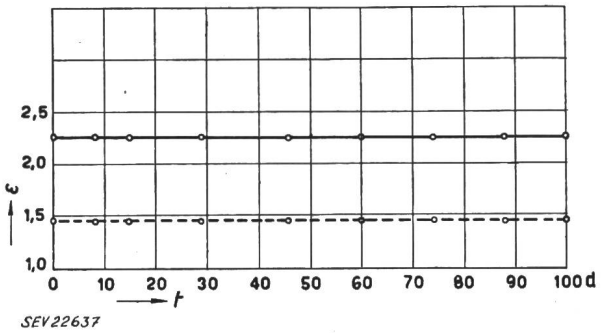


Fig. 2
Constante diélectrique ε pour 1 MHz en fonction de la durée d'immersion dans de l'eau potable à 23 °C
—— Polyéthylène solide ––– Polyéthylène cellulaire

Haute fréquence

Une application récente du polyéthylène cellulaire est constituée par la nouvelle antenne pour récepteur de télévision à ultra-haute fréquence. Dans ce cas-là, il est exigé du matériel isolant aussi bien une grande résistance à l'humidité qu'une insensibilité du diélectrique aux changements de fréquence. Si des variations se produisent, cela se traduit en pratique par une faible réception. La figure 4 montre ces propriétés du polyéthylène cellulaire dans un large domaine de fréquences.

Ces mêmes propriétés doivent être également insensibles à des températures différentes qui peuvent se produire d'une saison à l'autre, ce à quoi le polyéthylène cellulaire répond parfaitement. Si le facteur de puissance est pratiquement insensible au poids spécifique, la constante diélectrique s'accroît

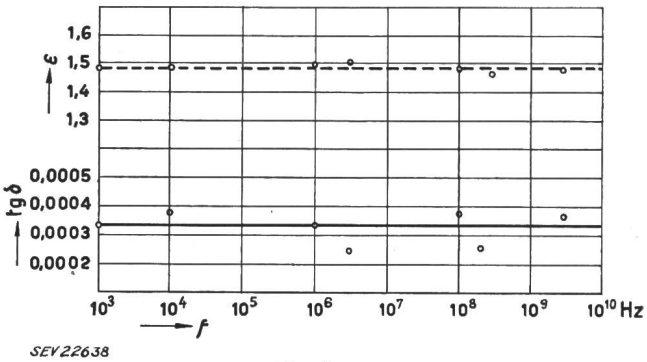


Fig. 2a
Angle de pertes diélectriques tg δ et constante diélectrique ε du polyéthylène cellulaire en fonction de la frequence f
—— Angle de pertes diélectriques
––– Constante diélectrique

parallèlement à l'accroissement de la densité. Les propriétés uniques du polyéthylène cellulaire, les économies réalisées par la réduction des dimensions des câbles et des quantités employées, une mise en œuvre facile prouvent les grands avantages qu'offre ce nouveau matériau diélectrique.

Teflon et Hostaflon

Propriétés générales des deux matériaux

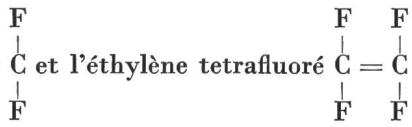
Les éthylènes fluorés sont les homologues des éthylènes chlorés mais ils s'en distinguent par une plus grande stabilité.

L'analogie peut se représenter très simplement de la manière suivante [7]:

au Chlorure de vinyle $\begin{array}{ccc} H & & H \\ | & & | \\ C & = & C \\ | & & | \\ H & & Cl \end{array}$ correspond le fluorure de vinyle $\begin{array}{ccc} H & & H \\ | & & | \\ C & = & C \\ | & & | \\ H & & F \end{array}$

au Chlorure de vinylidène $\begin{array}{ccc} H & & Cl \\ | & & | \\ C & = & C \\ | & & | \\ H & & Cl \end{array}$ correspond le fluorure de vinylidène $\begin{array}{ccc} H & & F \\ | & & | \\ C & = & C \\ | & & | \\ H & & F \end{array}$

L'éthylène monochlorotrifluoré a donc la formule suivante



et l'éthylène tetrafluoré

Le procédé général de fabrication consiste à échanger le chlore contenu dans les alkyles chlorés par du fluore en faisant agir de l'acide fluorhydrique.

Teflon [8, 9] (Du Pont de Nemours)

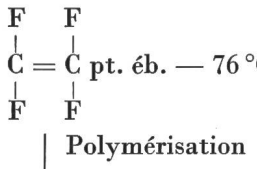
Synthèse: Chloroforme + Acide fluorhydrique

$$\underbrace{CHCl_3 + HF}_{\text{Chlor — difluor — méthane}}$$

$$CHClF_2$$

$$\downarrow \begin{array}{l} - \text{Acide chlorhydrique} \\ + \text{Platine (catalyseur)} \end{array}$$

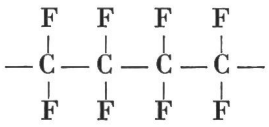
Ethylène tetrafluoré



pt. éb. — 76 °C

$$\downarrow \text{Polymérisation}$$

Teflon



La polymérisation se fait dans des autoclaves en acier VA sous de hautes pressions (de l'ordre de 1000 kg/cm²) avec l'aide de catalyseurs (persulfates ou peroxydes).

Le Teflon est une poudre blanche, très stable et inerte. Il résiste aux principaux solvants: alcools, cétones, éthers, hydrocarbures aliphatiques, aromatiques, chlorés, etc., ainsi qu'aux acides minéraux: acide chlorhydrique, nitrique, eau régale jusqu'à une température de 100 °C. A la température de 328 °C, le caractère cristallin disparaît en grande partie, la masse devient translucide, mais ne coule pas. Au moyen d'un effort de traction et sous de grandes pressions on peut obtenir à cette température, des déformations plastiques réduites. A 700 °C, il ne se produit encore aucune carbonisation, il se dégage par contre des produits gazeux nocifs contenant du fluore.

La construction non-polaire du Teflon lui donne un diélectrique excellent.

Comparaison entre les propriétés du *polyéthylène* et du *Teflon*:

Poids spécifique		0,92	2,1...2,3
Résistance à la rupture	kg/cm²	119	140...315
Allongement	%	30...500	300...400
Point de congélation	°C	—30...—100	—150
Résistance spécifique	Ωcm	10^{16}	10^{16}
Constante diélectrique		2,30	2,00
Tangente de l'angle de pertes à 1 MHz		0,0004	0,0002
Résistance aux agents chimiques		soluble dans les hydrocarbures, etc.	résistance générale excellente sauf contre les alcalis fondus.

On peut se demander pourquoi le Teflon, avec de telles propriétés, ne s'est introduit dans la technique que très lentement. Cela provient des difficultés qu'il offre dans la fabrication. A l'heure actuelle, on ne connaît encore aucun plastifiant compatible.

Le procédé habituel de former le Teflon consiste à presser la poudre sous une pression de 140 kg/cm² dans la forme désirée, puis de la chauffer à environ 365 °C pour obtenir une masse non-poreuse. En refroidissant à la température ordinaire, il se produit une contraction d'environ 8...10 % qui peut être calculée d'avance et se développe seulement dans la direction perpendiculaire à la direction de la pression. Avec un système de refroidissement approprié, on peut répartir cette contraction à peu près également dans toutes les directions. Le travail final se fait mécaniquement au moyen de rabots spéciaux.

Malgré les difficultés de fabrication et le prix extrêmement élevé, le Teflon s'introduit de plus en plus, grâce à son indifférence chimique et à sa résistance à la chaleur, à son diélectrique, toutes propriétés bien supérieures à celles de toutes les autres matières synthétiques. Il résiste à des températures variant de — 60 °C à + 270 °C.

Coefficient de friction très petit, jusqu'à ce jour aucun matériel n'a été trouvé ayant une adhésion quelconque au Teflon.

Son absorption d'eau est très basse.

Constante diélectrique 2,00.

Les pertes à travers le matériel sont aussi plus faibles qu'avec le polyéthylène ou le polystyrène. Excellente résistance à l'arc, puisqu'il n'y a pas de carbonisation, mais seulement ramollissement et vaporisation en surface. Le fluage est faible, un conducteur électrique recouvert d'une couche de 0,2 mm d'épaisseur en Teflon a été suspendu sur un mandrin de 4 cm de diamètre sous charge de 25 kg à une température de 235 °C durant 42 heures. Aucun écrasement sensible n'a été enregistré par examen aux rayons X. Son prix élevé et des difficultés de mise en œuvre en ont réduit jusqu'à aujourd'hui son champ d'action.

Hostaflon (Kel — F) (Farbwerke Hoechst)

La polymérisation de l'Hostaflon se fait à des pressions moins grandes que pour le Teflon. Propriétés à peu près les mêmes que pour le Teflon, son point de ramollissement se situe par contre nettement plus bas que pour le Teflon, si bien que les difficultés à le travailler ne sont pas aussi grandes. Utilisé pour des emplois thermiques jusqu'à 200... 250 °C, température également plus élevée que pour toutes les autres matières synthétiques.

Au contraire du Teflon, l'Hostaflon est une matière plastique qui peut se mouler au moyen de chaleur et de pression. Par refroidissement brusque, on immobilise l'état amorphe et on obtient ainsi une matière claire.

Bibliographie

[1] *Heitzmann, F.*: Die Isolierstoffe elektrischer Kabel und Leitungen unter besonderer Berücksichtigung von Polystyrolschaumstoff. Kunststoffe t. 42(1952), n° 2, février, p. 29...34.

[2] *Bohn, M., Burelle, P., Chevassus, F. e. a.:* L'importance des matières plastiques en électrotechnique. Toulouse: Editions Amphora 1947.
[3] *Morel, P. H.:* Les nouvelles gommes silicones, leurs mélanges, les propriétés de ces mélanges. Rev. gén. Caoutchouc t. 30(1953), n° 7, juillet, p. 481...491.
[4] *Stoeckhert, K.:* Chemische Weiterentwicklung auf dem Kunststoffgebiet. Gummi u. Asbest t. 7(1954), n° 5, 1 mai, p. 230...234.
[5] *Irradiated Polyethylene.* Mod. Plast. t. 31(1954), n° 8, avril, p. 100...101.
[6] *Higgins, W. T.:* Cellular Polyethylene by Extrusion. Kabelitems t. -(1954), n° 70, avril.
[7] *Graulich, W.:* Hochmolekulare Fluorverbindungen. Kunststoffe t. 40(1950), n° 8, août, p. 258...261.
[8] *Ely, E. B.:* «Teflon» Tetrafluoroethylene Resin as a Wire and Cable Insulator. Wire a. W. Prod. t. 27(1952), n° 6, juin, p. 579...582.
[9] *Fluorothene Resins.* Bakelite Company, avril 1954.

Adresse de l'auteur:
H. Nigg, chimiste, Dätwyler S. A., Altdorf.

Stand der Entwicklung und Verarbeitung von Kunststoffen

Vortrag, gehalten an der 13. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik am 18. Juni 1954 in St. Gallen,

von *G. Suhner,* Herisau

679.5

Die Kunststoffe und das Wissen um deren Eigenschaften und Verarbeitung sind heute so verbreitet, dass es nicht einfach ist, Fachleuten der Elektrotechnik in einem Kurzreferat über dieses weite Gebiet zu berichten, ohne dass einfach Bekanntes wiederholt wird oder dass man sich in technischen Einzelheiten verliert, die nur wenige interessieren. Das Referat setzt daher das Grundlegende als bekannt voraus und beschränkt sich auf die folgenden Punkte: Eine übersichtliche Darstellung der Entwicklung und der Produktion, eine praktisch bewährte Systematik, Behandlung der wichtigsten Kunststoffe und Verarbeitungsmethoden. Dabei sollen besonders die in der Elektrotechnik gebräuchlichen Materialien hervorgehoben werden und chemische Zusammenhänge unberücksichtigt bleiben.

Die Kunststoffe sind, trotz ihrem Namen, längst keine Ersatzstoffe mehr. Diese Tatsache ist zu einem Teil das Verdienst der erfahrenen, seriösen Verarbeiter, die — nur scheinbar gegen ihre eigenen Interessen — in der stürmischen Entwicklung immer wieder bremsen und die Verbraucher davon abhalten mussten, Kunststoffe dort einzusetzen, wo sie sich nicht eigneten. Der materialgerechte Einsatz ist auch heute noch von grösster Bedeutung. Er wird sogar um so wichtiger, je rascher die Entwicklung fortschreitet und je lauter von allen möglichen Seiten das Hohelied der Kunststoffe gesungen wird, weil dadurch die Übersicht allzu leicht verloren geht. Trotz diesem Vorbehalt dürfen wir heute ohne Übertreibung vom Zeitalter der Kunststoffe sprechen.

Ein Blick auf Fig. 1 soll dies bestätigen. Die hyperbolische Kurve stellt die Welterzeugung an Kunststoffen, exklusive Kautschuk, in den letzten 50 Jahren dar, ferner die Hauptträger der Entwicklung, welche die Kurve progressiv nach oben gesteuert haben, und zwar von etwa $0{,}02 \cdot 10^6$ t im Jahre 1900 auf $1{,}6 \cdot 10^6$ t, also das nahezu 100fache, im Jahre 1953.

Bis 1910 waren im wesentlichen nur Zelluloid- und Kaseinkunststoffe bekannt; dann traten die Phenolpressmassen auf und das Zelluloseazetat als Spritzguss-, Film- und Plattenmaterial. Ein weiterer Schritt waren 1921 die Harnstoffharze, während die für die Technik wichtigeren Melaminharze erst seit 15 Jahren bekannt sind. Ein bedeutendes Ereignis war 1927 die Einführung der Schnellpressmassen, welche erst die bisher üblichen Hartgummi- und Asphaltpressmassen zu verdrängen vermochten und die Begriffe Kunstharz und Kunststoff richtig populär machten. Die weitere Entwicklung verlagerte sich nun mehr auf das Gebiet der Thermoplaste, und es folgten Schlag auf Schlag 1930 Polyvinylchlorid, zuerst als Ersatz für Kautschuk, 1933 das Polystyrol und die Methylmetakrylate. In das Jahr 1935 fiel die Geburt der Polyamide, die in den Vereinigten Staaten von Amerika zuerst als Nylonfaser, in Deutschland als Spritzguss-Werkstoff Igamid Verbreitung fanden. Im Jahre 1937 brachten die Im-

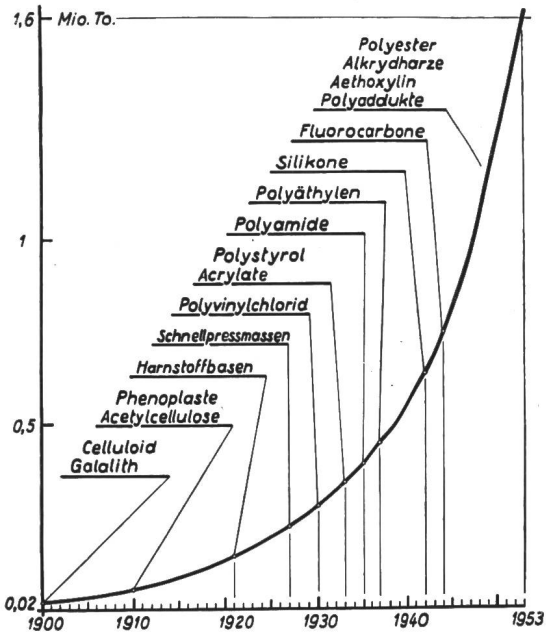


Fig. 1
Welterzeugung von Kunststoffen

perial Chemical Industries das Polyäthylen heraus. Ab 1942 entwickelten sich die verschiedensten Formen der Silikone und seit 1944 die Fluorokarbone. Seither wurden wieder eher härtbare Kunststoffe forciert, wie zum Beispiel die ungesättigten Polyesterharze, Alkydharze und Polyaddukte.

Fig. 2 zeigt eine interessante und bisher nicht veröffentlichte Gegenüberstellung der Produktionsverteilung auf die verschiedenen Kunststoffgruppen in den USA, in Deutschland und Grossbritannien. Wir entnehmen ihr die erstaunliche Tatsache, dass in den USA, die heute über die Hälfte der gesamten Welterzeugung bestreiten, der prozentuale Anteil der Thermoplaste gegenüber den Phenoplasten und Aminoplasten viel grösser ist als in Westdeutschland und Grossbritannien, welch letzteres etwa unseren Verhältnissen entsprechen dürfte. Es hat dies seinen