



VII SYMPOZJUM
**PROBLEMY EKSPLOATACJI
UKŁADÓW IZOLACYJNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA**
Zakopane, 21–23 października 1999

Maria Piotrowska-Baran*

MATERIAŁY ELEKTROIZOLACYJNE DLA PRZEMYSŁU

Streszczenie: Asortyment produkowanych materiałów elektroizolacyjnych jest bardzo szeroki: materiały warstwowe w postaci płyt, rur i prętów otrzymywane z prepregów, materiały laminowane giętkie i wyroby mikowe. Oddzielną specyficzną grupę stanowią izolatory przepustowe.

Słowa kluczowe: materiał elektroizolacyjny, izolatory przepustowe

1. Wstęp

Zakres produkcji Zakładów Tworzyw Sztucznych „IZO-ERG” S. A. obejmuje przede wszystkim materiały elektroizolacyjne i elektroizolacyjno-konstrukcyjne na bazie papierów, tkanin bawełnianych, syntetycznych i szklanych, żywic fenolowych, melaminowych, epoksydowych, poliuretanowych, poliestrowych, silikonowych, a także folii poliestrowych, folii miedzianej i aluminiowej, papieru mikowego, folii poliimidowej (kapton), papieru poliamidowego (nomex). Wyroby produkowane są w postaci prepregów, płyt, prętów, rur, wyprasek oraz tkanin i taśm.

W wyniku prowadzonych prac udoskonalania procesu produkcyjnego i organizacyjnego oraz systemu jakości, Zakłady — jako jedne z pierwszych w Polsce — uzyskały certyfikat DIN–ISO 9002 nadany przez jednostkę certyfikującą KEMA z Holandii.

Występująca od szeregu lat tendencja do optymalizacji konstrukcji urządzeń i aparatów elektrycznych, elektromechanicznych, energetycznych prowadzi do zwiększenia wymagań dla materiałów w nich stosowanych. Szczególnie ważną grupę stanowią materiały elektroizolacyjne o trudnych często do uzyskania specyficznych właściwościach elektrycznych i mechanicznych. Prace badawcze prowadzone w naszym

* ZTS „IZO-ERG” S. A. Gliwice

Zakładzie obejmują opracowywanie nowych wyrobów oraz prace nad poprawą jakości i obniżką kosztów wyrobów dotychczas produkowanych.

O jakości materiałów elektroizolacyjnych decydują surowce oraz parametry technologiczne. W związku z tym prowadzimy prace nad zastosowaniem nowych i lepszych surowców oraz nad wprowadzeniem optymalnych parametrów ich przetwórstwa. Prowadzimy badania naszych wyrobów za pomocą tradycyjnych metod oraz nowoczesnych, takich jak DMTA (termiczna analiza dynamicznych własności mechanicznych) lub DSC (różnicowa kalorymetria skaningowa). Tradycyjne badania to szczególnie badania starzeniowe określające odporność naszych materiałów na długotrwałe działanie ciepła. Poza tym prowadzone są badania odporności materiałów na działanie pleśni, mgły solnej oraz w warunkach podwyższonej wilgotności.

2. Wyroby elektroizolacyjne warstwowe

Podstawową grupę naszych wyrobów stanowią warstwowe płyty elektroizolacyjne papierowo-fenolowe, bawełniano-fenolowe, szklano-epoksydowe, szklano-melaminowe, szklano-silikonowe. W zależności od rodzaju zastosowanego nośnika oraz rodzaju kompozycji żywicy, w poszczególnych rodzajach płyt, produkuje się kilka ich gatunków różniących się poziomem wymagań [1].

Płyty fenolowe odporne są na działanie kwasów, słabych zasad, olejów, rozpuszczalników, lecz są mało odporne na działanie wilgoci. Mogą być eksploatowane w warunkach temperatury pracy ciągłej do 120°C.

Płyty melaminowe odporne na rozpuszczalniki, oleje i wodę. Najważniejszą ich własnością jest wysoka odporność na działanie prądów pelzających. Temperatura pracy ciągłej — 130°C.

Płyty epoksydowe są wyrobem warstwowym o bardzo wysokich własnościach mechanicznych i elektrycznych oraz odporne na działanie łuku elektrycznego. Poza tym charakteryzują się minimalną chłonnością wody i są odporne na działanie kwasów, zasad i pleśni. W zależności od rodzaju zastosowanej kompozycji żywicy epoksydowej najwyższa dopuszczalna temperatura pracy ciągłej dla płyty może wynosić: 130°C (TsE-1,2), 155°C (TsE-3,4), 180°C (TsE-6).

Płyty silikonowe o niższych własnościach mechanicznych niż płyty epoksydowe, ale dobrych własnościach dielektrycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Dopuszczalna temperatura pracy ciągłej — 180°C. Płyty przy odpowiednim doborze surowców mogą charakteryzować się dobrą wykrawalnością, odpornością na działanie ognia [2], zmniejszonym współczynnikiem tarcia itp.

3. Wyroby elektroizolacyjne zwijane

Produkcja rur zwijanych obejmuje elektroizolacyjne rury, papierowo-fenolowe, papierowo-epoksydowe, szklano-epoksydowe, bawełniano-epoksydowe. Rury przeznaczone są do pracy w powietrzu i w oleju transformatorowym jako elementy elektroizolacyjno-konstrukcyjne w aparatach i urządzeniach elektrycznych.

Dopuszczalna temperatura pracy ciągłej dla rur papierowych i bawełnianych wynosi 120°C, a dla rur epoksydowo-szklanych 130°C, 155°C i 180°C w zależności od zastosowanej kompozycji epoksydowej.

Szczególną uwagę chcemy zwrócić na rury zwijane epoksydowo-szklane, o bardzo dobrych własnościach mechanicznych i dielektrycznych oraz odpornych na długotrwałe działanie temperatury 180°C, jak również na rury szklano-epoksydowe trudnopalne.

4. Prepregi epoksydowe

Prepregi otrzymuje się przez nasycenie tkaniny szklanej lub papieru poliamidowego (Nomex) kompozycją żywicy epoksydowej. Kompozycje epoksydowe w zależności od składu mogą być stosowane w temperaturach pracy ciągłej 130°C, 155°C lub 180°C. Prepregi otrzymane z ww. żywic mają klasę izolacji taką jaką ma żywica. Oprócz prepregów zwykłych w Dziale Badawczym są w trakcie opracowania prepregi uelastycznione.

4.1. Kompozycje epoksydowe

Kompozycje epoksydowe zwykłe

Opracowaliśmy szereg kompozycji epoksydowych (tab. 1), które w stanie utwardzonym różnią się składem oraz temperaturą pracy ciągłej:

- EP-130 — kompozycja epoksydowa kl.izolacji B
- EP-155 — kompozycja epoksydowa kl. izolacji F
- EN-155 — kompozycja epoksynowolakowa kl. izolacji F
- EN-180 — kompozycja epoksynowolakowa kl. izolacji F
- EPT-130 — kompozycja epoksydowa trudnopalna kl. izolacji B

Tabela 1. Właściwości kompozycji epoksydowych

Lp.	Właściwości	Jedn.	Rodzaj kompozycji					Metoda badań
			EP-130	EP-155	EN-155	EN-180	EPT-10	
1.	Lepkość wg kubka Forda nr 4	sek	20–60	15–50	20–60	15–50	20–60	PN-81/C-81508
2.	Czas żelowania w temp. 150°C	min.	3–6	25–45	3–6	8–12	4–12	PN-79/C-89405
3.	Zawartość części stałych	%	70 ±15					ZN-95 MP TS-1256 p. 5.4.4.

Kompozycje epoksydowe uelastycznione

Wydział Badawczo-Doświadczalny jest w trakcie opracowywania termoutwardzalnych kompozycji epoksydowych klasy izolacji B i F o symbolach EP-130/U i EN-155/U (tab. 2).

Tabela 2. Właściwości kompozycji epoksydowych uelastycznionych

Lp.	Właściwości	Jedn.	EP-130/U	EN-155/U
1.	Lepkość w 20–25°C wg kubka Forda nr 4	sek	20–50	20–60
2.	Czas żelowania w temp. 150°C	min.	4–8	4–8
3.	Zawartość części stałych	%	70 ±15	
4.	Rozpuszczalnik	—	Aceton	

4.2. Prepregi

Prepregi szklane na bazie kompozycji epoksydowych zwykłych

Prepregi szklane [3] na bazie kompozycji epoksydowych zwykłych o nazwie handlowej Ergopreg produkowane są w różnych grubościach.

Ergopregi w zależności od gramatury zastosowanej tkaniny szklanej mają następujące grubości:

Tkanina szklana 125 g/m² — grubość Ergopregu 0,16 mm

Tkanina szklana 163 g/m² — grubość Ergopregu 0,20 mm

Tkanina szklana 200 g/m² — grubość Ergopregu 0,26 mm

Tabela 3. Właściwości Ergopregów

Lp.	Właściwości	Jedn.	ERGOPREG		
			E/F	EN/F	EN/H
1.	Zawartość żywicy	%	42 ±3	42 ±3	42 ±3
2.	Płynność	%	18–26	18–30	20–28
3.	Resztkowy czas żelowania	sek.	300–550	≥35	120–300
4.	Wytrzymałość na zginanie*	MPa			
	– w 20°C		340	340	340
	– 150°C ±5°C		170	170	—
	– 180°C ±5°C		—	—	170
5.	1-minutowa próba* napięciowa prostopadle do warstw w oleju w temp. 90°C po klimatyzacji 4 h/70°C	kV/mm	17,5	17,5	17,5

* – badania z poz. 4 i 5 tab. 3 wykonuje się na płycie o grubości 1–1,5 mm otrzymanej po sprasowaniu kilku warstw Ergopregu w temperaturze 160°C pod ciśnieniem 7 MPa i w czasie 2,5 h

Ergopregi stosowane są do otrzymywania wyrobów prasowanych i zwijanych (płyty, rury, pręty, profile) oraz do izolacji różnych elementów maszyn przez bezpośrednie naprasowywanie na izolowany element (tab. 3).

Prepregi szklane uelastycznione

Na bazie otrzymanych kompozycji uelastycznionych uzyskuje się prepregi, które charakteryzują się mniejszym stopniem wykruszania się żywicy podczas przetwórstwa

w porównaniu do prepregów tradycyjnych (tab. 4). Jest to ważne dla dokładnego jednolitego zapłygnięcia żywicy w prasowanym elemencie.

Tabela 4. Właściwości prepregów uelastycznionych

Lp.	Właściwości	Jedn.	ERGOPREG	
			E/B-U	EN/F-U
1.	Grubość	mm	0,26 ±0,03	0,26 ±0,03
2.	Zawartość żywicy	%	38–42	39–43
3.	Płynność	%	22–28	23–30
4.	Wytrzymałość na zginanie	MPa	340	340
	– w 20°C			
	– 150°C			

Prepregi z papieru poliamidowego „Nomex”

Prepreg o nazwie handlowej **ARAMIDPREG–H** (tab. 5) jest to niekalandrowany papier poliamidowy (Nomex 411) nasycony żywicą epoksydową klasy H (w stanie B). Materiał ten jest stosowany jako izolacja międzyzwojowa cewek biegunów wirników synchronicznych.

Tabela 5. Właściwości Aramidpregu

Lp.	Właściwości	Jedn.	Wartości	
1.	Grubość	mm	0,16	0,22
2.	Gramatura całkowita	g/m ²	85 ±10	140 ±14
3.	Papier poliamidowy			
	– grubość	mm	0,13	0,18
	– gramatura	g/m ²	39	63
2.	Zawartość żywicy	%	50–58	50–58

5. Wyroby mikowe

Bardzo ważną grupę wyrobów stanowią materiały elektroizolacyjne, których głównym składnikiem jest mika, z której otrzymywany jest papier mikowy. Produkowane są dwa rodzaje papieru mikowego [4] z miki muskowitz (PMM) i z miki flogopit (PMF). Z arkuszy papieru mikowego nasyconego żywicami syntetycznymi, sprasowanych w podwyższonej temperaturze i pod zwiększonym ciśnieniem, otrzymuje się mikanity komutatorowe i grzejnikowe. Maksymalna dopuszczalna temperatura pracy ciągłej dla mikanitów komutatorowych wynosi 155°C. Przeznaczone są na izolację międzywycinkową komutatorów oraz na podkładki izolacyjne w maszynach i aparatach elektrycznych. Mikanity grzejnikowe (mika flogopit i żywica silikonowa) odporne

na temperatury do 700°C, stosowane są jako materiały elektroizolacyjne i termoizolacyjne w elektrycznych urządzeniach grzejnych powszedniego użytku oraz urządzeniach przemysłowych.

Papier mikowy jest podstawowym składnikiem taśm mikowych o nazwach handlowych „**Epoksterm**”, „**Ergoterm**” i „**Ergopor**”.

Oprócz papieru mikowego składnikami taśm mogą być: tkanina szklana i folia poliestrowa, które stanowią warstwy nośne osłonne i uzupełniające. Papier mikowy, tkaniny szklane oraz folia poliestrowa łączone są za pomocą żywic syntetycznych. Na bazie żywicy epoksydowej otrzymane są taśmy mikowe termoutwardzalne Epoksterm 4, 5 i 9 oraz Ergoterm 1, 2 i 3. Taśmy te stosowane są do otrzymywania układów izolacyjnych prasowanych tzw. technologią Resin-Rich [5]. Nowo uruchomionym wyrobem jest taśma Ergopor składająca się z papieru mikowego i tkaniny szklanej połączonych niewielką ilością żywicy syntetycznej. Taśmy Ergopor stosowane są do otrzymywania układów izolacyjnych nasycanych tzw. technologią VPI (vacuum pressure impregnation) [6].

W oparciu o żywice poliuretanowe otrzymuje się taśmy nieutwardzalne tzn. nie wymagające dalszej obróbki cieplnej o nazwie handlowej Epoksterm 8,6 lub 11 stosowane jako izolacja czołowa.

6. Wyroby laminowane giętkie

Kolejną grupę materiałów elektroizolacyjnych stanowią wyroby laminowane giętkie. Wyroby te wykonywane są przez połączenia za pomocą specjalnych kompozycji żywic, folii poliestrowych z preszpanem, tkaniną szklaną lub papierem poliamidowym (Nomex) oraz folii poliimidowej (Kapton) z papierem poliamidowym lub tkaniną szklaną. Materiały te znane są pod nazwami handlowymi: **tereszpan**, **szkłofleks**, **izolacja NEN** i **NSN** oraz **Ergofol W**, **WG** i **NKN** [7, 8]:

Tereszpan – materiał warstwowy giętki klasy izolacji B składający się z preszpanu i folii poliestrowej stosowany do izolacji żłobków;

Ergofol W i WG – materiał warstwowy giętki klasy izolacji B/F składający się z włókniny poliestrowej i folii poliestrowej stosowany do izolacji żłobków;

Izolacja NEN – materiał warstwowy giętki klasy izolacji F składający się z papieru poliamidowego i folii poliestrowej stosowany do izolacji żłobków;

Izolacja NSN – materiał warstwowy giętki klasy izolacji H składający się z papieru poliamidowego i tkaniny szklanej stosowany jako izolacja międzywarstwowa oraz elementy wykrawalne;

Izolacja NKN – materiał warstwowy giętki klasy izolacji H składający się z papieru poliamidowego i folii poliimidowej stosowany do izolacji żłobków.

7. Izolatory przepustowe

Specjalną grupę wyrobów elektroizolacyjnych stanowią izolatory przepustowe, w których podstawową izolacją jest papier powleczony żywicą syntetyczną. Izolatory przepustowe kondensatorowe produkowane są jako:

- transformatorowe o napięciu znamionowym do 145 kV,
- stacyjne napowietrzno-wnętrzowe o napięciu znamionowym 125 kV,
- stacyjne wewnętrzne o napięciu znamionowym 36 kV,
- generatorowe o napięciu znamionowym 17,5 kV.

8. Podsumowanie

Zakłady Tworzyw Sztucznych „IZO-ERG” S. A. idąc naprzeciw wymaganiom odbiorców sukcesywnie uruchamiają produkcję nowych typów materiałów elektroizolacyjnych rozszerzając swój asortyment. Równolegle prowadzą prace mające na celu poprawę jakości wyrobów produkowanych, dążąc przy tym do wymagań światowych z równoczesnym obniżeniem kosztów wytwarzania.

Literatura

- [1] PN-EN 60893; 1994: *Wymagania techniczne dotyczące przemysłowych sztywnych płyt na bazie żywic termoutwardzalnych do celów elektrycznych*
- [2] ZN-98/MP-TS-1247: *Materiały elektroizolacyjne. Płyty warstwowe z tworzyw sztucznych trudnopalne*
- [3] **Piotrowska-Baran M., Budrewicz B.:** *Prepregi i materiały elektroizolacyjne warstwowe klasy izolacji H.* Krajowa Konferencja Postępy w elektrotechnologii, Szklarska Poręba 1994
- [4] PN-88/E-11013: *Materiały elektroizolacyjne. Papier mikowy*
- [5] **Piotrowska-Baran M.:** *Własności fizyko-chemiczne taśm mikowych Epoksterm 4 i Ergoterm 1 ze szczególnym uwzględnieniem własności żywic.* II Seminarium techniczne, Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle elektrotechnicznym, Ustroń-Jaszowiec 1995
- [6] **Piotrowska-Baran M.:** *Taśmy porowate i materiały giętkie wytwarzane na urządzeniu typu Hotmelt.* IV Seminarium Techniczne Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle elektrotechnicznym, Ustroń-Jaszowiec 1998
- [7] IEC 626-3; 1996: *Materiały elektroizolacyjne giętkie wielowarstwowe Część 3; Wymagania techniczne dla poszczególnych materiałów*
- [8] **Piotrowska-Baran M., Beblo M.:** *Układy izolacyjne maszyn niskiego napięcia,* III Seminarium Techniczne, Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle elektrotechnicznym, Ustroń-Jaszowiec 1996

INSULATING MATERIALS FOR INDUSTRY

Assortment of produced insulating materials is very wide. Rigid laminated sheets, tubes and rods based on thermosetting resins and different reinforcements. Flexible laminate materials and products based on mica. Specific separate group are insulated bushings for alternating voltages.