



Andrzej Nowożeniuk*, Paweł Migas*

TWORZYWA CERAMICZNE — ICH DOBÓR DO PRODUKCJI IZOLATORÓW W ŚWIETLE AKTUALNYCH BADAŃ I WYMAGAŃ ENERGETYKI

Streszczenie: W referacie przedstawiono krótką charakterystykę tworzyw ceramicznych stosowanych do produkcji izolatorów w ZPE „ZAPEL” S.A. w Boguchwale. Wykazano i uzasadniono wyższość tworzyw wysokoglinowych, a szczególnie rodzaju 130 nad tworzywem kwarcowym. W zarysie przedstawiono mechanizm procesów starzeniowych w elektroporcelanie oraz rolę tlenku glinu w ich opóźnianiu i w uzyskiwaniu wysokich parametrów wytrzymałościowych tworzyw.

Słowa kluczowe: izolator, tworzywo ceramiczne, porcelana elektrotechniczna, tworzywo 110, tworzywo 120, tworzywo 130

1. Wstęp

Od izolatorów stosowanych w elektroenergetyce wymaga się wysokiej wytrzymałości mechanicznej i elektrycznej oraz odporności termicznej i chemicznej.

Tworzywem najlepiej spełniającym te różnorodne wymagania jest porcelana elektrotechniczna stosowana od 1848 roku, kiedy to Werner von Siemens po raz pierwszy zastosował izolatory porcelanowe do izolacji linii telegraficznej.

Wraz z rozwojem linii przesyłowych wysokiego napięcia oraz aparatury wysokonapięciowej powstały nowe konstrukcje izolatorów wymagających tworzyw o coraz wyższych parametrach wytrzymałościowych.

Przez ostatnie kilkadziesiąt lat tworzywa te przeszły znaczną ewolucję od zwykłej porcelany kwarcowej do porcelanowych tworzyw wysokoglinowych.

Ewolucję tą przeszły także tworzywa ceramiczne produkowane w Zakładach Porcelany Elektrotechnicznej „ZAPEL” w Boguchwale.

* Zakłady Porcelany Elektrotechnicznej „ZAPEL” S.A., ul. Techniczna 1, 36-040 Boguchwała

2. Prezentacja tworzyw

Izolatory w ZPE „ZAPEL” S.A. produkowane są z tworzyw zaszergowanych do trzech rodzajów: 110, 120 i 130 — zgodnie z normami [2] i [3].

Zgodnie z pkt 2.1. PN-86/E-06301: „Podział klasyfikacyjny elektroizolacyjnych materiałów ceramicznych na grupy i rodzaje został ustalony na podstawie ich składu chemicznego i charakterystycznych właściwości fizycznych”.

- *Tworzywo rodzaju 110* — „porcelana elektrotechniczna” — jest klasyczną porcelaną o zawartości kwarcu do 70% i tlenku glinu około 23%. Charakteryzuje się stosunkowo niskimi parametrami wytrzymałościowymi oraz małą odpornością na procesy starzeniowe.
- *Tworzywo rodzaju 120* — „porcelana elektrotechniczna wysokoglinowa” — jest tworzywem porcelanowym o podwyższonej zawartości tlenku glinu, w praktyce do około 40%. Charakteryzuje się wyższymi parametrami wytrzymałościowymi w stosunku do tworzywa rodzaju 110.
- *Tworzywo rodzaju 130* — „porcelana elektrotechniczna wysokoglinowa o najwyższych parametrach wytrzymałościowych” — jest jednocześnie tworzywem o najlepszej odporności na procesy starzeniowe, uzyskiwanej głównie dzięki wysokiej zawartości tlenku glinu w ilości powyżej 50%.

Tabela 1. Podstawowe właściwości tworzyw

Własność	Jedn.	Warunki badania	Materiał ceramiczny rodzaju:		
			110	120	130
Gęstość pozorna	g/cm ³	—	2,2	2,3	2,5
Wytrzymałość na rozciąganie min.	MPa	bez szkliwa	25	40	60
		ze szkliwem	30	50	70
Wytrzymałość na zginanie min.	MPa	bez szkliwa	50	80	140
		ze szkliwem	60	100	160
Udarność	min. kJ/m ²	bez szkliwa	1,8	2,2	2,5
Wsp. sprężystości wzdłużnej	min. MPa	bez szkliwa	60·10 ³	80·10 ³	100·10 ³
Wytrzymałość dielektryczna	min. kV/mm	—	20	20	20

Oznaczenia parametrów wykonywane są na znormalizowanych kształtkach wg [4] i [5]. Szczegółowy podział kwalifikacyjny i zestawienie właściwości zawarte są w [2] i [3].

3. Procesy starzeniowe

W elektroporcelanie, podobnie jak w każdym materiale zachodzą procesy starzeniowe, których nie można całkowicie zlikwidować, lecz można znacząco je ograniczyć.

Z punktu widzenia użytkownika izolatorów, starzenie oznacza obniżanie własności elektrycznych i mechanicznych w funkcji czasu.

Starzenie elektryczne jest istotne w przypadku zastosowania izolatorów do napięć stałych. W warunkach napięcia przemiennego problemy starzeniowe ograniczają się praktycznie do wytrzymałości mechanicznej izolatorów.

Jednym z najistotniejszych etapów procesu technologicznego jest wypalanie, w trakcie którego zachodzi szereg przemian fizycznych i chemicznych, w wyniku których wyroby uzyskują wymagane parametry użytkowe.

Podczas studzenia w czerepie izolatora powstają naprężenia takie jak:

- naprężenia w mikroobszarach otaczających ziarna kwarcu, wywołane różnicą współczynników rozszerzalności kwarcu i otaczającej go warstwy szklistej oraz jego przemianami krystalograficznymi z równoczesną zmianą objętości,
- naprężenia w skali pół makro spowodowane anizotropią struktury,
- naprężenia w skali makro między wnętrzem a obszarami zewnętrznymi izolatora, wywołane gradientem temperatury,
- naprężenia wywołane w sposób zamierzony przez szkliwo, w celu zwiększenia odporności szkliwa na pęknięcia i podwyższenia wytrzymałości izolatorów.

Oprócz ww. trwałych naprężeń, w izolatorze występują naprężenia eksploatacyjne: mechaniczne statyczne i dynamiczne oraz elektryczne. Każde z podanych naprężeń ma swój udział w procesie starzeniowym porcelany, polegającym na powiększaniu się rozmiarów mikrodefektów na drodze kruchych pęknięć pod wpływem istniejących w materiale naprężeń. Rozwijające się naprężenia i mikrodefekty ulegają częściowo relaksacji poprzez lokalne odkształcenia mikroplastyczne oraz zatrzymaniu lub rozgałęzieniu na granicach międzyziarnowych i międzyfazowych. Każda granica fazowa stanowi próg energetyczny, którego pokonanie wymaga określonej energii. Jeśli próg ten jest dostatecznie wysoki, może pochłonąć całą energię pęknięcia i wówczas mikropęknięcie ulegnie zatrzymaniu. Jeśli nie — to zahamowanie rozprzestrzeniającego się mikropęknięcia może nastąpić dopiero na którejś z kolejnych granic faz. Przy względnie dużej energii pęknięcia może dojść do pokonania wszystkich granic fazowych i w efekcie do zniszczenia izolatora.

W celu zwiększenia gęstości rozstawienia granic faz, w porcelanie elektrotechnicznej stosuje się wzmocnienie dyspersyjne. Polega ono na wprowadzeniu do masy porcelanowej i utrzymaniu w czerepie po wypaleniu dużej ilości drobnych ziaren krystalicznych. Porcelana wzmocniona dyspersyjnie stanowi więc kompozyt ziarnisty. Powszechnie do wzmocnienia dyspersyjnego stosuje się dwa surowce: kwarc i tlenek glinu.

Ze starzeniowego punktu widzenia, kwarc nie jest odpowiednim materiałem wzmacniającym, ponieważ sam jest generatorem naprężeń i mikropęknięć, które — jak wspomniano wcześniej — powstają wskutek różnicy rozszerzalności cieplnej kwarcu i fazy szklistej oraz przemiany polimorficznej podczas studzenia. Poza tym ziarna kwarcu posiadające własności piezoelektryczne, mogą w zmiennym polu elektrycznym same generować drgania mechaniczne.

O wiele pewniejszym jest wzmocnienie dyspersyjne tlenkiem glinu, który równocześnie pozwala uzyskać nawet trzykrotne zwiększenie wytrzymałości mechanicznej. Im większa jego ilość w tworzywie, tym mniejsze odległości międzyziarnowe, przez co zmniejsza się długość ewentualnego defektu, a równocześnie zwiększa się ilość granic

międzyfazowych. Tlenek glinu w postaci korundu nie wywołuje dodatkowych naprężeń w tworzywie, ponieważ współczynniki rozszerzalności cieplnej porcelanowej fazy szklistej, mulitu i tlenku glinu są zbliżone. Ponadto większy moduł Younga i wyższa twardość tlenku glinu, dają większą pewność, że rozwijający się defekt zatrzyma się lub rozgałęzi na granicy ziarna, a nie przejdzie na wskroś przez ziarno.

Wraz z opisanym wyżej wzmocnieniem dyspersyjnym stosuje się wzmocnienie włókniste mulitem, którego rolę w tworzywie można porównać do roli zbrojenia w żelbetonie. Mineral ten o budowie igielkowej tworzy się podczas wypalania w reakcji między tlenkiem glinu a kwarcem i charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną, elektryczną, chemiczną oraz odpornością na wstrząsy termiczne.

4. Wymagania stawiane izolatorom

Oprócz takich wymagań odbiorców jak kształt, wymiary, geometria klosza, tolerancja wymiarów, jakość powierzchni, itp., stawiane są wymagania, które mają istotny wpływ na rodzaj zastosowanego do produkcji izolatorów tworzywa ceramicznego i można je podzielić na:

- wymagania elektryczne,
- wymagania mechaniczne,
- wymagania termiczne,
- wymaganie dotyczące czasu eksploatacji, określone niejednokrotnie przez odbiorców na 40–50 lat.

Nie wszystkie wymagania są istotne dla poszczególnych grup asortymentowych, a konkretne wymagania mają różny wpływ na dobór rodzaju tworzywa, z którego wykonany będzie izolator. Zasadnicze kryteria, na podstawie których konstruktor dobiera konkretne tworzywo ceramiczne do określonego typu izolatora to:

- wymagane parametry mechaniczne i elektryczne jakie ma spełniać izolator,
- rodzaj konstrukcji izolatora,
- warunki pracy izolatora,
- horyzont czasowy na jaki przewidziana jest poprawna praca izolatora,
- czynniki ekonomiczne wynikające z ceny tworzywa,
- życzenie odbiorcy.

5. Kryteria doboru tworzyw

W praktyce produkcyjnej wymagania z grupy elektrycznej w niewielkim stopniu determinują wybór tworzywa, ponieważ o własnościach elektrycznych izolatora decydują jego wymiary, kształt i geometria kloszy.

Największy wpływ na dobór tworzywa mają wymagania z grupy mechanicznej. Na podstawie wymagań mechanicznych oraz uwarunkowań, wynikających z unifikacji osprzętu jak: kołnierze, kołpaki czy stopy, optymalizuje się wymiary izolatora i zastosowane tworzywo.

Spełnienie wymagania dotyczącego czasu eksploatacji, uzależnione jest od warunków eksploatacji i można je najlepiej zrealizować stosując tworzywa o długim czasie życia.

W świetle aktualnej wiedzy najwolniej starzeje się tworzywo 130 i wszędzie tam, gdzie odbiorcy wymagają długiej i niezawodnej pracy wyrobów, ZPE „Zapel” stosuje to tworzywo. Przeważnie dotyczy to izolatorów liniowych oraz wsporczy na najwyższe napięcia i wytrzymałości na rozciąganie czy zginanie, a także izolatorów aparatowych o dużych wytrzymałościach ciśnieniowych. Z tworzywa 130 wytwarzane są także inne typy izolatorów, głównie na życzenie odbiorców zagranicznych.

Na przedstawionym zestawieniu możemy prześledzić zastosowanie tworzyw w grupach asortymentowych:

- tworzywo 110
 - izolatory liniowe niskonapięciowe,
 - części ceramiczne przepustów transformatorowych nisko- i średnionapięciowych,
- tworzywo 120
 - izolatory liniowe i stacyjne średnich napięć,
 - osłony ceramiczne do przepustów transformatorowych wysokonapięciowych,
 - osłony aparatowe o niższych wymaganiach mechanicznych,
- tworzywo 130
 - izolatory liniowe i wsporcze średnionapięciowe o podwyższonych wymaganiach mechanicznych,
 - izolatory trakcyjne,
 - izolatory wsporcze wysokonapięciowe,
 - osłony aparatowe o dużych wymaganiach wytrzymałości mechanicznej i ciśnieniowej,
 - izolatory liniowe długopniowe wysokich i najwyższych napięć.

6. Podsumowanie

Wyższa wytrzymałość mechaniczna oraz mniejsza podatność na procesy starzeniowe tworzyw wysokoglinowych rodzaju 120 i 130 w stosunku do tworzywa kwarcowego rodzaju 110 związana jest z zastąpieniem kwarcu tlenkiem glinu, natomiast wyższa wytrzymałość i czas życia tworzywa rodzaju 130 w stosunku do 120 wynika nie tylko z większej ilości tlenku glinu w tworzywie, ale m.in. z zastosowania specjalnych jego odmian.

Wprowadzenie większej ilości tlenku glinu (korundu), w powiązaniu z optymalnym udziałem innych składników masy oraz technologią wypalania, powoduje powstanie w tworzywie większej ilości mulitu krystalizującego w postaci włókien, które zdecydowanie podwyższają parametry mechaniczne, elektryczne oraz odporności chemicznej i termicznej.

Ziarna korundu spełniają również rolę wzmocnienia dyspersyjnego tworzywa, przyczyniając się do radykalnego spowolnienia procesów starzeniowych. Z tych to powodów, większość renomowanych światowych producentów izolatorów porcelanowych

zaprzeszała produkowania izolatorów z tworzywa rodzaju 110. Praktyka wielokrotnie potwierdziła większą podatność izolatorów z tego tworzywa na procesy starzeniowe, a przykładem mogą być problemy z izolatorami liniowymi wyprodukowanymi z tego tworzywa, które po 15–20 latach eksploatacji muszą być wymieniane ze względu na gwałtowny wzrost ilości awarii. Obszar stosowania izolatorów z tego tworzywa ulega zmniejszaniu, stąd również w ZPE „ZAPEL” od kilku lat następuje zdecydowany spadek ich produkcji, zaś rozszerza się asortyment izolatorów z tworzyw wysokoglinowych.

Wyższa cena izolatorów z tworzywa 130, wynikająca głównie z wysokiej ceny ceramicznego tlenku glinu oraz trudniejszej technologii ich wykonania, rekompensowana jest lepszymi parametrami wytrzymałościowymi i niezawodnościowymi w kilkukrotnie dłuższym okresie eksploatacji.

Literatura

- [1] **Dziadkowiec J., Kupiec E.:** *Procesy starzeniowe w izolatorach ceramicznych*. Opracowanie OBR „CEREL”, Boguchwała 1991
- [2] PN-86/E-06301. *Elektroizolacyjne materiały ceramiczne. Klasyfikacja i wymagania*
- [3] IEC 672-3:1984. *Specification for ceramic and glass insulating materials. Part 3: Individual materials*
- [4] PN-89/E-06307. *Elektroizolacyjne materiały ceramiczne. Metody badań*
- [5] IEC 672-2:1980. *Specification for ceramic and glass insulating materials. Part 2: Methods of test*
- [6] **Pampuch R.:** *Materiały Ceramiczne — zarys nauki o materiałach nieorganicznych i niemetalicznych*. Warszawa, PWN 1988
- [7] **Ranachowski J.:** *Wyznaczenie współczynnika naprężeń krytycznych KIC oraz ocena „czasu życia” izolatora liniowego długopniowego typu LP-75/31W*. Warszawa, IPPT-PAN 1996
- [8] **Schubert H.:** *Keramische Einflussfaktoren auf die Festigkeit von Hochspannungsisolatoren*. Sprechsaal. 1975, nr 11–12, s. 335–341

CERAMIC MASSES — THE SELECTION FOR INSULATORS PRODUCTION IN COMPARISON WITH THE TOPICAL TESTS AND ENERGETIC REQUIREMENTS

In report there is submitted short characteristic of ceramic masses used in insulators production in ZPE „ZAPEL” S.A. in Boguchwała.

There are revealed and motivated the higher properties of high-aluminous mass especially mass type 130 than silicone mass. There is submitted in short the process of ageing in porcelain insulators and also an influence of alumina oxide in delaying of ageing process and in receiving high parameters of mechanical strenght of masses.