

Andrzej Gnatek¹, Marek Sobczyk¹

WYSOKONAPIĘCIOWE OSŁONY CERAMICZNE APARATÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie: Przedstawiono współczesną metodę produkcji wysokonapięciowych osłon ceramicznych przeznaczonych do urządzeń energetycznych dla napięć do 750 kV. Zaprezentowano nowe materiały konstrukcyjne stosowane w produkcji przedmiotowych wyrobów tj. wysokoglinowe tworzywa ceramiczne, materiały na okucia, szybkosprawne spoiwa cementowe, chemoutrwalne kleje żywiczne. Stosowana technologia klejenia segmentów ceramicznych po wypale i stawiane wymagania eksploatacyjne były powodem podjęcia badań wytrzymałościowych węzłów montażowych oraz badań starzeniowych złączy klejowych. Omówiono metody badań, dotychczasowe wyniki oraz ich ocenę.

Słowa kluczowe: osłony wielkogabarytowe, technologia produkcji, nowe materiały konstrukcyjne, badania niezawodnościowe

1. Wstęp

Infrastruktura energetyczna wymaga stosowania różnego rodzaju aparatów energetycznych wysokiego napięcia, których elementem konstrukcyjnym są ceramiczne osłony wielkogabarytowe.

Produkcja tak istotnych elementów konstrukcyjnych, wymaga specjalistycznego wyposażenia technologicznego, stwarza wiele problemów technicznych. Rosnące wymagania eksploatacyjne stawiane tym wyrobom stymulują poszukiwanie nowych rozwiązań technicznych w kierunku spełnienia tych wymagań przy równoczesnej optymalizacji kosztów jej produkcji.

2. Stosowane technologie wytwarzania osłon

Kierunki rozwoju technologii produkcji osłon doprowadziły do rozwiązań optymalnych tak pod kątem spełnienia wymagań, uwarunkowań technologicznych jak i kosztów produkcji. Optymalne rozwiązanie konstrukcyjno - technologiczne to produkcja za pomocą technologii tzw. mokrej, segmentów osłon o wysokości do ok. 1500 mm, które następnie po wypaleniu są

¹ ZPE ZAPEL S.A. Boguchwała

klejone specjalnymi klejami. Rozwiązanie to pozwala produkować szeroki asortyment osłon przy stosunkowo niedużych nakładach inwestycyjnych. [1]

3. Materiały konstrukcyjne

3.1. Tworzywa ceramiczne

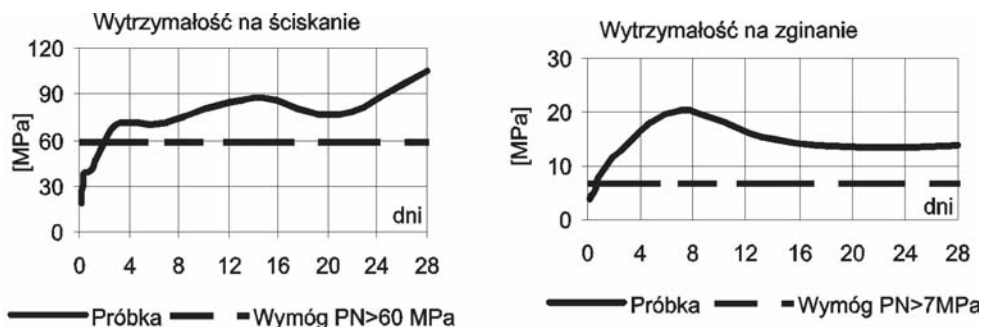
Tworzywa ceramiczne stosowane do produkcji izolatorów w okresie ostatnich kilkadziesiąt lat przeszły znaczną ewolucję od zwykłej porcelany kwarcowej do wysokoglinowych tworzyw porcelanowych. Do połowy lat 60 produkowano wyroby wyłącznie z tworzywa kwarcowego, jednakże w związku z uruchamianiem produkcji izolatorów o coraz wyższych parametrach wytrzymałościowych wdrożono najpierw produkcję izolatorów z tworzywa rodzaju C120, a od końca lat 70 również z tworzywa rodzaju C130. [1]

Zasadnicza różnica między poszczególnymi rodzajami tworzyw polega na zawartości w nim tlenku glinu. Tlenek glinu wprowadzony w miejsce kwarcu wzmacnia dyspersyjnie porcelanę zwiększając jej wytrzymałość mechaniczną w decydujący sposób wpływając na jej własności użytkowe poprzez spowolnienie procesów starzeniowych tworzywa. Powyższe względy ukierunkowały stosowanie i rozwój tworzyw w kierunku elektroporcelany wysokoglinowej rodzaju C130 w stronę większej zawartości tlenku glinu.

Oslony wielkogabarytowe ze względu na stawiane im bardzo wysokie wymagania techniczno-eksploatacyjne powinny być produkowane z tworzyw wysokoglinowych – głównie C130.

3.2. Okucia izolatorów

Tworzywo ceramiczne jest materiałem bardzo sztywnym i kruchym, dlatego więc celem maksymalnego wykorzystania wytrzymałości mechanicznej ceramiki zastosowane okucia powinny zapewniać odpowiednią do wymagań sztywność. [3] Ze względu na kształt okucia i względy technologiczne wykonuje się je jako odlewy żeliwne lub ze stopów aluminium. W praktycznych rozwiązaniach dominują okucia ze stopów aluminium ulepszone cieplnie tj. wyżarzane cieplnie i starzone sztucznie. Pozwala to uzyskać wytrzymałość materiałową R_m – min 222 [MPa] i twardość ponad 100 HB.



Rys. 1. Wytrzymałość mechaniczna spoiwa w funkcji czasu sezonowania

3.3. Spoiwa montażowe

Powszechną zasadą jest stosowanie do montażu osłon spoiwa cementowego. W ZPE ZAPEL S.A. stosuje się szybkością gotową zaprawę cementową charakteryzującą się wysoką wytrzymałością mechaniczną dużo większą od wymaganych przez PN-E-30000:1992 [6] i bardzo krótkim czasem wiązania. Uzyskiwane wytrzymałości na ściskanie i zginanie w funkcji czasu przedstawia rysunek nr 1. [3]

3.4. Kleje konstrukcyjne

Przy wyborze kleju do klejenia segmentów ceramicznych należy uwzględnić następujące parametry:

- wytrzymałość mechaniczna złącza na rozszczepianie,
- odporność na działanie olejów elektroizolacyjnych,
- odporność na działanie czynników atmosferycznych i promieniowania UV,
- odporność na nagrzewanie do temperatury 120°C,
- szczelność połączenia,
- własności elektroizolacyjne,
- trwałość połączenia,
- technologiczność procesu.

Optymalnie, przedstawione wymagania spełniają dwuskładnikowe żywice epoksydowe chemoutwardzalne, utwardzające się w temperaturze otoczenia. Oferowane są w postaci dwukomorowych naboji „Cartidge” ze statycznym mieszalnikiem zapewniającym zachowanie odpowiedniego stosunku między żywicą i utwardzaczem oraz bardzo dobre wymieszanie obydwu składników.

Zastosowana przez ZPE ZAPEL żywica zapewnia spełnienie następujących wymagań dla połączenia klejowego między elementami porcelanowymi:

- naprężenie zginające wytrzymałwane 25 MPa przez czas 1 min.
- minimalne niszczące naprężenie zginające ≥ 25 MPa
- probiercze napięcie przemienne ≥ 20 kV
- odporność na temperaturę do 120°C

4. Technologia wykonywania złączy klejowych

Stosowana w ZPE ZAPEL S.A. technologia klejenia obejmuje następujące operacje:

1. Przygotowanie powierzchni klejonych – polega na szlifowaniu celem uzyskania określonej płaskości i chropowatości.
2. Klejenie – polega na naniesieniu w odpowiedni sposób kleju na powierzchnie klejone oraz jego precyzyjnym rozprowadzeniu, przy równoczesnym pozycjonowaniu klejonych segmentów urządzeniem laserowym.
3. Sezonowanie połączenia klejowego – polega na utrzymaniu w stanie statycznym łączonych segmentów przez określony czas.
4. Próby elektryczne złączy klejonych – sprawdzenie napięciem probierczym.

W ramach badań kontrolno-odbiorczych wykonywane są na kompletnych izolatorach próby mechaniczne niszczące.

5. Badania złącz klejonych

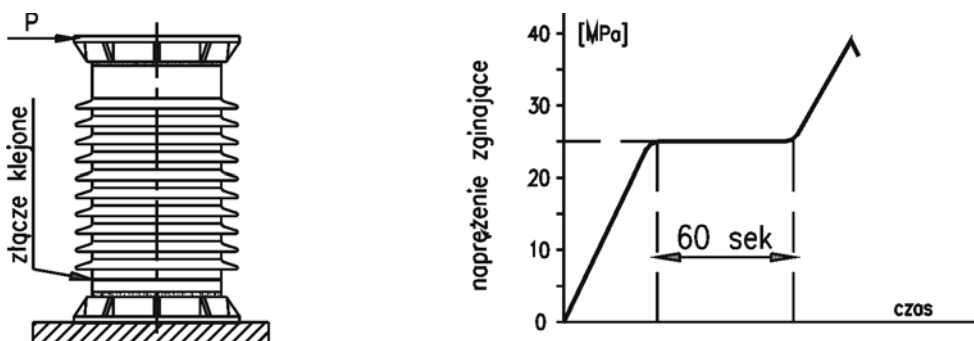
Celem sprawdzenia wytrzymałości mechanicznej złącza klejowego na zginanie oraz oceny trwałości złącza klejonego wykonano we współpracy z Instytutem Energetyki w Warszawie [5]:

1. Badanie krótkotrwałe – sprawdzające wytrzymałość doraźną.
2. Badanie długotrwałe – sprawdzające odporność złącza na procesy starzeniowe.

5.1. Badanie krótkotrwałe wytrzymałości złącz klejonych

Badanie to przeprowadzono celem potwierdzenia gwarantowanej wytrzymałości mechanicznej na zginanie wynoszące > 25 MPa. Schemat wykonania próby przedstawiono na rys. nr 2.

Próbie wykonano na 3 osłonach i wszystkie osłony pękły w miejscu klejenia w trakcie zwiększania obciążenia po okresie przetrzymania. Wyniki prób przedstawiono w tabeli nr 1.



Rys. 2. Schemat i przebieg próby na zginanie osłony klejonej.

5.2. Badanie długotrwałe wytrzymałości złącz klejonych

Celem wykonania tych badań było określenie na podstawie przyspieszonych badań starzeniowych prognozowanej wytrzymałości mechanicznej złącza po 40 latach eksploatacji. Do badań przygotowano próbki – rurki ceramiczne z tworzywa C130 o średnicy zewnętrznej 54 mm, średnicy wewnętrznej 38 mm, długości 150 mm sklezione ze sobą żywicą epoksydową chemoutwardzalną

We współpracy z firmą ABB Components [2] ustalono, że najbardziej odpowiadający warunkom eksploatacji osłon będzie program badań obejmujący przyspieszone starzenie próbek w dwóch niezależnych cyklach:

Cykl 1 Próbki przetrzymywane w wannie z wodą dejonizowaną o temperaturze 30°C (co ma odpowiadać wilgotności 100%)

Cykl 2 Próbkę przetrzymywane w komorze klimatycznej w temperaturze 60°C i wilgotności 20%

Tab. 1. Wyniki próby niszczącej osłon klejonych.

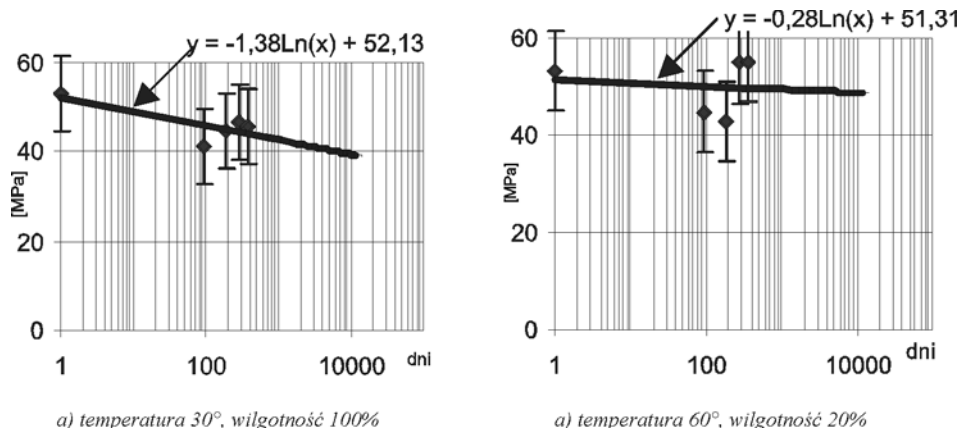
Osłona nr	Naprężenia zginające w złączu klejonym				
	25 MPa/60sek	y_i	y_{sr}	s	$y_{sr} - 3s$
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	wynik próby pozytywny	36,7	39,0	0,5	37,5
2		38,7			
3		38,6			

gdzie: y_i – naprężenie niszczące, y_{sr} – średnie naprężenie niszczące, s – odchylenie standardowe

Próbki przetrzymywano przez okres 12 miesięcy, przy czym co 3 miesiące określoną ilość próbek pobierano celem określenia wytrzymałości mechanicznej złącza. Sprawdzenia wytrzymałości na zginanie dokonywano metodą trzypunktową. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono dla obu cykli wykresy naprężenia w funkcji $\lg t$ – gdzie przez t oznaczono czas starzenia. Na wykresach przedstawiono równania linii prognozującej spadek wytrzymałości złącza klejonego uzyskaną poprzez aproksymację.

Analizując obydwie wykresy można stwierdzić, że prognozowa na wytrzymałość złącza klejonego po 40 latach przetrzymywania w warunkach:

- cyklu 1** tj. w temperaturze 30°C i wilgotności 100% wyniesie 73,3% wartości początkowej,
- cyklu 2** tj. temperatury 60°C i wilgotności 20% wyniesie 94,5% wartości początkowej.



Rys. 3. Charakterystyka wytrzymałości na zginanie w warunkach starzenia

Przeprowadzone badania potwierdziły, że naprężenia niszczące złącza klejonych wykonanych wg technologii ZAPEL są większe od wartości gwarantowanych tj. min. 25 MPa. [5]

6. Wnioski

Stosowana przez ZPE ZAPEL S.A. technologia produkcji wielkogabarytowych osłon ceramicznych poprzez sklejani ze sobą żywicą epoksydową segmentów jest technologią optymalną, pozwalającą produkować osłony dla najwyższych napięć.

Badania starzeniowe pozwalają prognozować, że wymagane parametry będą utrzymywane przez okres co najmniej 40 lat.

Literatura

- [1] **Dąbrowska J., Dąbrowski J.:** *Współczesna technologia produkcji wysokonapięciowych izolacyjnych osłon ceramicznych aparatów elektrycznych*. Materiały konferencyjne „Napowietrzna izolacja wysokonapięciowa w energetyce NIWE 2000” Wrocław 2000.
- [2] *Warunki techniczne na izolatory ceramiczne ABB Szwecja nr 2730 502E.*
- [3] Raport „Produkcja osłon dla HSP”, opracowanie ZAPEL S.A., Boguchwała, 1999.
- [5] *Sprawozdanie z badań nr EWN/43/E/00/01 „Badanie wytrzymałości złącz klejonych”* Instytut Energetyki Warszawa 2001r
- [6] PN-E-30000:1992 *Izolatory elektroenergetyczne. Spoiwa. Ogólne wymagania i badania.*

HIGH VOLTAGE CERAMIC HOLLOW INSULATORS

Abstract: The paper presents the modern method of production of high voltage ceramic hollow insulators applied to power industry facilities for voltage up to 750 kV. The new construction materials used in production process of these products are presented i.e. high alumina ceramic materials, materials for flanges, fast-setting cements, chemical-setting resin glues. The technology used for gluing of fired ceramic segments and exploitation requirements caused strength tests of the assembly points and research of ageing process of glue joints. The methods of tests, results and assessment are submitted.

Key words: large-size hollow insulators, production technology, new construction materials, reliability tests