

Daniel Jerzmański¹, Jerzy Stankiewicz¹, Witold Mielcarek¹, Krystyna Prociów¹

BADANIA ODPORNOŚCI SZKŁO-EPOKSYDOWYCH RDZENI NOŚNYCH IZOLATORÓW KOMPOZYTOWYCH NA KOROZJĘ NAPRĘŻENIOWĄ

Streszczenie: Odporność korozyjna włókien szklanych do wzmocnienia rdzeni nośnych izolatorów kompozytowych nabiera szczególnego znaczenia, kiedy nie można zagwarantować szczelności połączenia zasadniczych elementów izolatora w tzw. punkcie potrójnym. Rozwój korozji naprężeniowej doprowadza do groźnego zjawiska - kruchego pęknięcia rdzenia izolatora. Mimo tendencji do stosowania włókien kwasoodpornych typu ECR, zagadnienia te są nadal przedmiotem wielu badań, między innymi zmierzają do nowelizacji normy IEC 61109 poprzez wprowadzenie badań sprawdzających odporność rdzeni szkło-epoksydowych na korozję. Własne badania wykonano wg założeń do nowelizacji normy IEC. Rozwój korozji naprężeniowej zilustrowano wynikami badań prętów wykonanych ze szkła typu E pochodzącego od różnych wytwórców. Pręty różniły się ponadto technologią wykonania. Dla porównania wyników wykonano testy odpornościowe na prętach z kwasoodpornym włóknem typu ECR.

Słowa kluczowe: izolator kompozytowy, rdzeń szkło-epoksydowy, korozja naprężeniowa, testy odpornościowe

1. Wprowadzenie

Trzydziestoletnie doświadczenia z eksploatacji izolatorów kompozytowych na liniach napowietrznych wysokiego napięcia jak i laboratoryjne testy odpornościowe pozwalają na ocenę zjawisk związanych ze starzeniem się w warunkach naturalnych oraz pogarszaniem charakterystyk mechanicznych tychże izolatorów.

Przyczyn destrukcji upatruje się w podatności na pęcznienie materiałów użytych do wykonania rdzenia izolatora i braku odporności niektórych typów szkła na dyfuzję roztworów agresywnych, które mogą pojawiać się przy wyładowaniach koronowych.

Rozwój korozji naprężeniowej może w skrajnych przypadkach doprowadzać do groźnego zjawiska, tzw. kruchego pęknięcia szkło-epoksydowych (S-E) rdzeni nośnych izolatorów.

Mimo tendencji do stosowania włókien kwasoodpornych typu ECR, zagadnienia te są nadal przedmiotem wielu badań [1-3], między innymi zmierzają do nowelizacji normy IEC 61109 poprzez wprowadzenie badań sprawdzających odporność rdzeni S-E na korozję naprężeniową.

¹ Instytut Elektrotechniki, Oddział Wrocław ul. M. Skłodowskiej-Curie 55-61 50-369 Wrocław

Takie testy wymagają specjalistycznych stanowisk, są różne propozycje doboru parametrów narażeń korozyjnych i wymagań dla próbek [4]. Pojawiają się również opinie o zbyt ostrych parametrach narażeń, nieadekwatnych do warunków eksploatacyjnych izolatorów. Badane jest również oddziaływanie kwaśnych związków powstałych w trakcie utwardzania matrycy polimerowej i ich erozyjnego oddziaływania na włókna szklane użyte do wzmocnienia rdzeni nośnych.

2. Testy odporności korozyjnej rdzeni S-E izolatorów

Testy wykonano według założeń zawartych w projekcie [4] poprawki do normy IEC 61109 Próbkami do badań były izolatory kompozytowe pochodzące z linii produkcyjnych od czterech producentów. Dla izolatorów krajowej produkcji znano technologię wykonania i skład materiałowy rdzenia (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie badanych próbek

Próbka	Typ szkła	Syciwo	Producent
izolator - 0	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 1	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 2	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 3	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 7	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 11	E	żywica epoksydowa	krajowy
izolator - 10	nieznany	nieznane	zagraniczny
izolator - 13	nieznany	nieznane	zagraniczny
pręt SE - 8	E-CR	żywica epoksydowa	krajowy
pręt SE - 12	R	żywica epoksydowa	krajowy

Izolatory miały długość izolacyjną powyżej 800 mm a rdzenie wzmocnione włóknem ze szkła E. Do testów odpornościowych przygotowano również we własnym zakresie pręty epoksydowe wzmocnione włóknem ze szkła typu E-CR i ze szkła R.

Narażenia mechaniczne próbek (obciążenie rozciągające rzędu 0,7 SML) dobierano proporcjonalnie do średnic prętów, aby zapewnić porównywalne naprężenia rozciągające w badanych obiektach. Narażenia korozyjne to 1 nHNO₃.

3. Wyniki testów korozji naprężeniowej

W tabeli 2 przedstawiono wyniki testu korozji naprężeniowej na badanych próbkach. Jednoczesne narażenia: korozyjne 1nHNO₃ i naprężenia rozciągające rzędu 27 kN/cm² doprowadziły do zerwania wszystkich badanych izolatorów, których rdzenie nośne były wzmocnione nieodpornym na korozję chemiczną włóknem szklanym typu E. Czas jaki upłynął do zerwania rdzenia izolatora wynosił w najlepszym przypadku około 50 godzin, tj.

połowę wymaganego w założeniach. Rdzenie nośne wzmocnione włóknem szklanym typu E-CR i R uzyskały wynik pozytywny w próbie. W czasie trwania 96 godzinowego testu nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń rdzenia. Po zwielokrotnieniu czasu narażeń, zdemontowano ze stanowiska te obiekty bez widocznych nieuzbrojonym okiem uszkodzeń powierzchniowych.

Tabela 2. Wyniki prób odporności na korozję naprężeniową

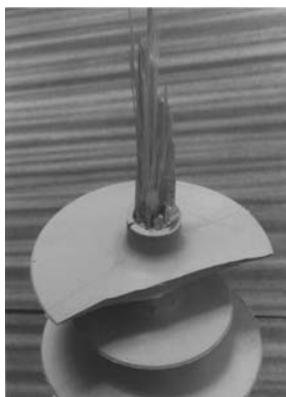
Próbka			Narażenia testowe			Wynik próby	
Numer	Typ szkła	Średnica rdzenia [mm]	Obciążenie rozciągające [kN]	Naprężenie [kN/cm ²]	Roztwór kwasu	Czas do zerwania [h]	+/-
0	E	20	85	27	1nHNO ₃	50,3	-
1						49,2	-
2		20	87	27,7		17,3	-
3						14,1	-
7		22	96,6	25,5		20,0	-
11						16,0	-
10		17	60,5	26,8		28	-
13						2,0	-
13		16,5	67	31,3		2,0	-
SE-8						E-CR	22
SE-12	R	20	85	27		>288*	+

* – zdjęte bez uszkodzeń

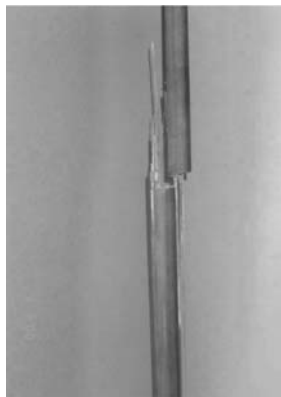
W porównaniu do opisywanego w literaturze tzw. kruchego pęknięcia, polegającego na otrzymaniu przełomu gładkiego w całym przekroju poprzecznie ustawionym do osi pręta, oprócz takich przełomów (rys. 1) otrzymywano również przełomy silnie postrzępione (rys. 2), sięgające głęboko w materiał, z rozwarstwieniami i spękaniem wzdłuż osi prętów, aż do okucia izolatora-w skrajnym przypadku. Jest to związane z rozszerzoną strefą dyfuzji roztworu kwaśnego na większą długość rdzenia (minimum 150 mm) i większego przez to wpływu wad struktury geometrycznej powierzchni (rys, pęknięć, skaz, bruzd powierzchniowych).

Na rysunkach 3-5 zamieszczono obrazy mikroskopowe wybranych próbek w celu porównania efektów korozyjnych uzyskanych w próbach odpornościowych rdzeni S-E w odniesieniu do obrazów powierzchni wyjściowych do badań. Porównano obrazy włókien szklanych w przekroju poprzecznym pręta i wzdłuż włókien.

Na powierzchniach wyjściowych (rys. 3a) w przekrojach poprzecznych obserwowano wady technologiczne w postaci porowatości i skaz w tworzywie epoksydowym, w mniejszym stopniu - nierównomiernie i luźne rozłożenie pojedynczych włókien i pasm rowingów, które nie tworzą elementów heksagonalnych charakterystycznych dla struktur gęsto upakowanych. Włókna różnią się wyraźnie frakcją średnic (9 i 15 μm). Na przekrojach w miejscu kruchego pęknięcia widać rozwarstwienia i postrzępienia materiału rdzenia, przebiegające wzdłuż warstw włókien (rys. 3b), poza tym widoczne są liczne skorodowania na powierzchni włókien oraz poprzeczne pęknięcia zarówno pojedynczych włókien szklanych i większych fragmentów tworzywa rdzenia (rys. 3d)



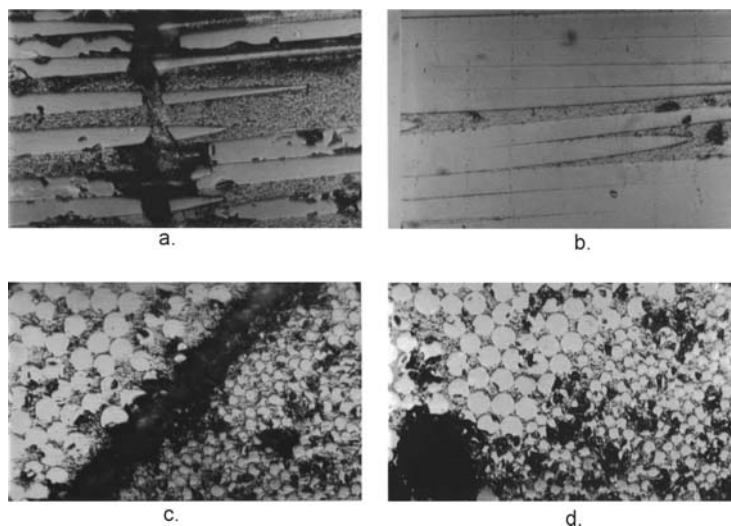
Rys. 1. Pęknięcie rdzenia SE na skutek korozji naprężeniowej. Próbką nr 3



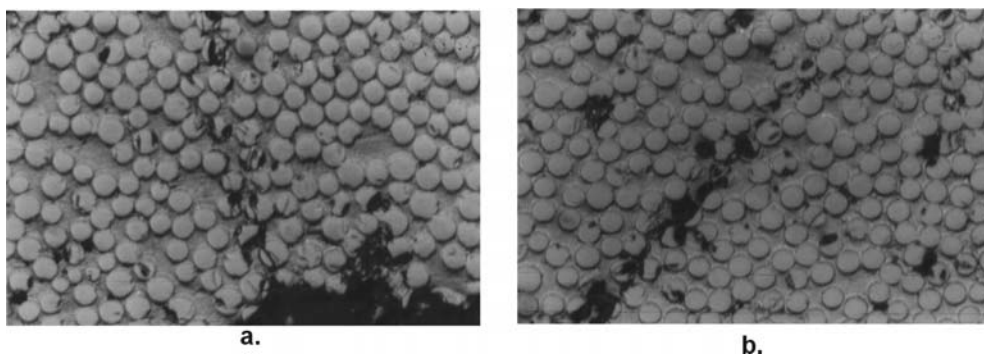
Rys. 2. Pęknięcie rdzenia S-E izolatora na skutek korozji naprężeniowej. Próbką nr 0

Pęknięcia pojedynczych, sąsiednich włókien (rys. 4) wyznaczają kierunek rozwarstwienia tworzywa, lokalne pęknięcia składają się na kruche pęknięcia rdzenia nośnego w całym obszarze oddziaływania roztworu kwaśnego HNO_3 .

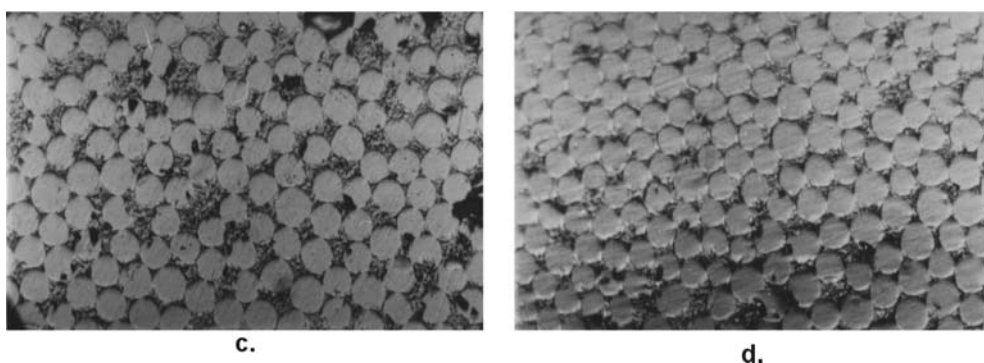
Opisana korozja prętów dotyczy tylko przypadków zastosowania szkła typu E wrażliwego na korozję chemiczną. Rdzenie epoksydowe wzmocnione włóknem szklanym E-CR i R (próbki nr 8 i 12) pomyślnie przeszły test korozji naprężeniowej. Na rysunku 5 zamieszczono obrazy mikroskopowe próbki z włóknem ze szkła typu E-CR. Na włóknach szklanych nie zaobserwowano żadnych efektów korozyjnych.



Rys. 3. Obrazy mikroskopowe prętów SE z uwidocznieniem włókien szklanych. Pow. $\times 330$ (próbka nr 11 ze szkłem E). Przekrój poprzeczny pręta: a – powierzchnia wyjściowa – widoczne frakcje średnic, b – po korozji naprężeniowej – widoczne rozwarstwienie pręta. Przekrój wzdłużny pręta: c – powierzchnia wyjściowa, d – po korozji naprężeniowej – ze śladem pęknięcia kruchego w poprzek pręta



Rys. 4. Obraz mikroskopowy pręta S-E z uwidocznieniem włókien szklanych. Pow. $\times 500$. (próbka 13 ze szkłem E). a – pęknięcie wzdłużne włókien szklanych, b – kierunek rozwarstwienia tworzywa rdzenia



Rys. 5. Obrazy mikroskopowe przekroju pręta S-E z uwidocznionym włóknem szklanym. Pow. $\times 330$. (próbka nr 8). a – powierzchnia wyjściowa, włókno szklane typu E-CR, b – powierzchnia po korozji naprężeniowej

4. Podsumowanie

1. Odporność korozyjna włókien szklanych użytych do wzmocnienia rdzeni nośnych izolatorów kompozytowych nabiera znaczenia, kiedy nie można zagwarantować szczelności połączenia zasadniczych elementów izolatora w tzw. punkcie potrójnym. Proponowane badanie odporności rdzeni na korozję naprężeniową, poprzez doprowadzenie narażeniami do kruchości pęknięcia rdzenia izolatora wykonanego z włókien nieodpornych na korozję chemiczną, skutecznie wykrywają typ zastosowanego szkła.
2. Powszechnie stosowane do chwili obecnej włókna ze szkła E (borowo-krzemowego) nie mają odporności na działanie roztworów kwasów, między innymi słabego roztworu kwasu azotowego, który może pojawiać się w wyniku wyładowań elektrycznych (koronowych).
3. Badane izolatory z rdzeniami wzmocnianymi włóknem ze szkła E uległy zerwaniu, nie osiągając na ogół połowy wymaganego czasu próby. Rdzenie wzmocniane włóknem szklanym E-CR pomyślnie przeszły powyższy test.

4. Braku odporności na korozję włókien ze szkła E upatruje się głównie w zawartości w szkle tlenku boru - B_2O_3 , szkło E zawiera go przeciętnie 6%. Szkło typu E-CR i R nie zawiera boru. Użyte w doświadczeniach tzw. szkło tytanowe ma zredukowaną zawartość boru.
5. Zauważa się również duży wpływ wielkości naprężeń mechanicznych na sam rozwój korozji, co prowadzi szybko do kruchego pęknięcia rdzenia (próbka 13).

Literatura

- [1] **Kuhl M.**, *Consideration on the mechanical reliability of composite insulators* Symposium on non-ceramic insulator technology. The North American Experience. Zurich, 16-17.11.1995.
- [2] **Me Quavrie T. S.** *Improved dielectric and brittle fracture resistant core rods for non-ceramic insulators*. Insulator 2000 World Congress on Insulator Technologies for the Year 2000 and Beyond Barcelona. 14-17.11.1999.
- [3] **Kamo K., Nakanishi T., Hayashi Y., Matsnoka R.**, *Reproducing test of brittle fractures of polymer insulators*. Proceedings of the 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. June 21-26.2000, Xi'an Liaotong University, Xi'an, China.
- [4] IEC TC 36 Secretariat 106. Amendment to IEC 1109. Test on the resistance of FRP core against stress corrosion.

GLASS EPOXY COMPOSITE INSULATOR CORES RESISTANCE TO STRESS CORROSION

The literature data on ageing and deterioration of insulator mechanical properties are poor. The worsening of insulator quality is usually ascribed to creeping of core material and propagation of stress corrosion cracking in epoxy glass (FRP) composites. Because the boron free epoxy glass (E-CR) composites are not in common use yet, the insulator core rod resistance to stress corrosion is still the point to study. The latest revision of IEC 61 109 standard aimed at including of „Test on the resistance of FRP core against stress corrosion” in it, is another prove of topicality of the problem. In our work the testing of the FRP-cores stress resistance was performed according to proposal of test method prepared by WG 07 of TC36 to be included in IEC 61 109 standard. The stress corrosion tests performed on cores of different manufactures enabled to verify the suitability of the materials.