

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234489**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418178**

(51) Int.Cl.
H01B 3/10 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **03.08.2016**

(54)

Kompozytowa mieszanka ceramizująca

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

12.02.2018 BUP 04/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.03.2020 WUP 03/20

(73) Uprawniony z patentu:

**POLIMARKY SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ
SPÓŁKA KOMANDYTOWA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JOLANTA SZLACHTA, Niechobrz, PL
AGNIESZKA FRAŃCZAK, Rzeszów, PL
MAREK KYC, Rzeszów, PL**

PL 234489 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest kompozytowa mieszanka ceramizująca, do stosowania w szczególności jako ogniochronna osłonka na przewody elektryczne.

Tworzywa sztuczne, ze względu na stosunkowo niewielki ciężar właściwy, odporność na działanie czynników chemicznych oraz dobre właściwości fizykochemiczne, a także możliwość przetwórstwa, są szeroko stosowane w wielu gałęziach przemysłu, gdzie zastępują materiały nie-polimerowe takie jak metale, ceramikę czy drewno.

Wadą niektórych tworzyw sztucznych, w tym w szczególności tworzyw termoplastycznych jest natomiast stosunkowo niska odporność na działanie wysokich temperatur. Niektóre tworzywa sztuczne ulegają degradacji lub upłynnieniu, nawet w temperaturach poniżej 400°C, a zatem stwarzają zagrożenie w warunkach pożaru.

W celu ograniczenia palności, do tworzyw sztucznych wprowadza się różnego rodzaju dodatki antypirenowe, którymi są między innymi różnego rodzaju związki chloru lub bromu, zwane także niepalniaczami halogenowymi. Zaletą antypirenow halogenowych jest niska cena, natomiast wadą jest wytwarzanie w warunkach pożaru chlorowodoru lub bromowodoru, które są drażniące dla ludzi mających kontakt z oparami w przypadku zapalenia tworzywa. Dodatkowo, chlorowodór oraz bromowodór są korrozyjne zarówno dla urządzeń, jak i instalacji znajdujących się w strefie pożaru.

Znane są ponadto antypireny fosforowo-azotowe do których należą między innymi związki z grupy amonowych pochodnych fosforowych w tym: poli(fosforan amonu) i poli(fosforan melaminy), które mogą działać samodzielnie lub też być częścią systemów pęczniejących.

Innymi znanymi środkami antypirenowymi są związki nieorganiczne: wodorotlenek glinu ($\text{Al}(\text{OH})_3$) (ATH) oraz wodorotlenek magnezu ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) (MDH). Zaletą tych antypirenow jest brak toksyczności oraz ograniczona dymotwórczość, a także brak wytwarzania się w trakcie pożaru gazów korozyjnych. Wadą ATH oraz MDH jest natomiast konieczność wprowadzania tych związków do tworzyw w dużej ilości w celu uzyskania oczekiwanego stopnia niepalnienia, co z kolei wpływa na pogorszenie niektórych właściwości przetwórczych oraz użytkowych tworzywa. W związku z tym, opracowuje się mieszanki o działaniu synergetycznym, zawierające poza ATH czy MDH różnego rodzaju dodatki, umożliwiające ograniczenie zawartości dodatku wodorotlenku glinu czy magnezu do tworzywa, zapewniając tym samym poprawę jego właściwości fizyko-chemicznych. Związkami stosowanymi w tego typu mieszankach synergicznych z ATH czy MDH są między innymi związki boru, w tym borany cynku, oraz kwasu borowego, a także: związki cynowo-cynkowe, związki silikonowe oraz poli(fosforan melaminy) i talk.

Znane są ponadto dodatki w formie nanonapełniaczy, pełniących funkcję modyfikatorów niektórych właściwości tworzyw sztucznych, w tym zapewniających zwiększenie odporności tworzywa na ogień. Do materiałów tych zalicza się między innymi montmorylonit, bentonit i haloizyt.

Inną grupę materiałów, zapewniających ograniczenie palności tworzyw sztucznych stanowią kompozytowe mieszanki ceramizujące, które zapewniają bezhalogenowe niepalnienie tworzywa połączone z efektem ceramizacji. Kompozytowe mieszanki ceramizujące składają się z matrycy polimerowej ze zdyspergowanymi w matrycy napełniaczami nieorganicznymi, zdolnymi do ceramizacji to jest wytworzenia spieku w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury.

Kompozytowe mieszanki ceramizujące są wykorzystywane między innymi w sektorze budowlanym, co związane jest z wymaganiami palnościowymi dotyczącymi materiałów budowlanych w tym: zapewnienia bezpieczeństwa ludziom, umożliwienia skutecznej ewakuacji oraz zmniejszenia prędkości rozprzestrzeniania się pożaru w budynku, gdzie rozprzestrzenia się różnymi drogami, poprzez wykorzystanie wszystkich dostępnych materiałów palnych. Szybkość rozwoju pożaru wpływa zatem na wielkość powstałych strat materialnych oraz na zagrożenie dla przebywających w budynku osób.

Typowo, budynki wyposażone są w instalacje elektryczne, zasilające urządzenia zainstalowane w budynku w energię elektryczną, a także zapewniające komunikację pomiędzy tymi urządzeniami. Kable elektryczne zasilania oraz kable sterujące i komunikacyjne stanowią 31 grupę wyrobów budowlanych wymienioną w załączniku IV do rozporządzenia CPR (z ang. Construction Products Regulation) – stanowiącego Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011, ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. Zgodnie z rozporządzeniem CPR, przewody elektryczne muszą spełniać wymagania palnościowe określone normą PN-EN 13501-6, która zawiera 7 Euroklas charakteryzujących kable elektryczne wraz z kryteriami dodatkowymi uwzględniającymi wydzielanie dymu oraz występowanie płonących kropli.

Zgodnie z obowiązującą Dyrektywą CPR, szczególne wymagania stawiane są kablom elektroenergetycznym w obiektach o podwyższonych wymaganiach przeciwpożarowych, w których występują duże skupiska ludzi oraz koncentracja dóbr kulturalnych i materialnych o znacznej wartości, takich jak: szkoły, szpitale, centra handlowe, porty lotnicze, hotele, tunele podziemne, wielokondygnacyjne budynki mieszkalne, stacje kolei podziemnych, garaże podziemne, hale sportowo-widowiskowe, stadiony, kina, teatry, muzea, biurowce oraz kompleksy przemysłowe.

Wymogi podwyższonej ognioodporności stawiane są także kablom stosowanym w pojazdach taboru szynowego oraz komunikacji miejskiej. Kryteria te spełniają przewody i kable bezhalogenowe nierozprzestrzeniające płomienia oraz kable bezhalogenowe ognioodporne. Kable bezhalogenowe nie rozprzestrzeniające płomienia podczas pożaru nie emitują toksycznych, korozyjnych gazów oraz gęstych dymów, mają właściwości samo gasnące, jednak w warunkach pożaru nie zapewniają dopływu energii elektrycznej, izolacja i powłoka kabla ulega spaleniowi nie zachowując swojej funkcji. Natomiast bezhalogenowe kable ognioodporne, oprócz zalet kabli nie rozprzestrzeniających płomienia, zapewniają dopływ energii elektrycznej do urządzeń, których działanie w warunkach pożaru jest niezbędne do prowadzenia szybkiej, bezpiecznej akcji ratunkowej. Do przewodów tego typu zalicza się między innymi: obwody oświetlenia awaryjnego, wyciągi dymu, klimatyzacja, systemy alarmowe, systemy sygnalizacyjne, systemy kontrolne, systemy sterujące, windy osobowe, pompy wody gaszącej, urządzenia wytwarzające kurtynę wodną. Kable tego typu zwane są także kablami bezpieczeństwa ponieważ kable te utrzymują swoją funkcję w warunkach działania ognia przez określony czas, to jest co najmniej 3 godziny w temperaturze 750°C.

W związku ze szkodliwym działaniem halogenowych dodatków antypirenowych do tworzyw sztucznych, ogranicza się zastosowanie poli(chlorku winylu) (PCV) jako tworzywa powłokowego na przewody elektryczne. PCV zastępuje się natomiast kompozytowymi mieszkankami ceramizującymi na bazie tworzyw poliolefinowych, takich jak sieciowane kauczuki silikonowe.

Zasada działania kompozytowych mieszanek ceramizujących o właściwościach uniepalnienia tworzywa polega na wytworzeniu pod wpływem ognia i/lub wysokiej temperatury w polimerowej matrycy litego, twardego spieku ceramicznego, który zapewnia ochronę przed dyfuzją ciepła oraz tlenu w głąb kompozytu, hamuje procesy dalszego termicznego rozkładu matrycy polimerowej, a jednocześnie znacząco ogranicza dyfuzję szkodliwych i/lub toksycznych produktów rozkładu matrycy polimerowej do strefy spalania, obniżając tym samym palność tworzywa a także emisję lotnych produktów spalania.

Wytworzony spiek ceramiczny eliminuje powstawanie podczas pożaru kapiących, płonących kropli tworzywa zwłaszcza z takich elementów jak sufity, framugi okien i drzwi, co znacznie poprawia efektywną ewakuację osób z miejsca pożaru. Po wytworzeniu spieku, przewód elektryczny osłonięty matrycą polimerową zachowuje funkcję przesyłania energii elektrycznej, w tym także do kluczowych urządzeń akcji ratowniczej, przez określony czas trwania pożaru.

Kompozytowe mieszanki ceramizujące typowo zawierają polimerową matrycę na bazie kauczków silikonowych, ze względu na ich wysoką stabilność termiczną, oraz zdolność tworzenia krzemionki amorficznej w trakcie spalania. Powstająca krzemionka amorficzna nie występuje w litej postaci, lecz w formie pyłu o małej barierowości, który może być łatwo usunięty z powierzchni przez działanie strumieni gazów w obszarze palenia. Kompozytowe mieszanki ceramizujące poza fazą ciągłą zawierają także wypełniacze mineralne, które w warunkach podwyższonej temperatury (pożaru) biorą aktywny udział w specyficznych reakcjach z produktami degradacji łańcucha polimerowego, w tym także z powstającą krzemionką.

Znane są ponadto kompozytowe mieszanki ceramizujące zawierające inne niż kauczuk silikonowy tworzywa sztuczne, co jest możliwe dzięki wprowadzeniu do matrycy polimerowej odpowiedniej ilości niskotopliwych topników, tzw. fryt szklanych i/lub wypełniaczy mineralnych, których cząstki mogą spiekać się w wysokiej temperaturze. W przypadku tego typu mieszanek ceramizujących matryca polimerowa nie dostarcza składników do wytworzenia spieku ceramicznego, ponieważ podczas działania wysokiej temperatury i/lub ognia ulega częściowej lub całkowitej termicznej destrukcji.

Efekt częściowej ceramizacji obserwuje się w przypadku klasycznych bezhalogenowych tworzyw termoplastycznych, na przykład opartych na matrycy PE i EVA stosowanych na powłoki kabli nie rozprzestrzeniających płomienia, zawierających jako fazę rozproszoną mineralne wypełniacze typu wodorotlenku glinu (ATH) czy wodorotlenku magnezu (MDH). Mechanizm prowadzący do uformowania się barierowej zgorzeliny na powierzchni tego typu kompozytów opiera się na kondensacji grup hydroksylowych obecnych w ATH czy MDH i wytworzeniu mostków tlenowych pomiędzy poszczególnymi cząstkami wypełniacza. Tak powstała zgorzelina nie posiada jednak dużej wytrzymałości mechanicznej.

W publikacji „Effect of zinc borate on flammability/thermal properties of ethylene vinyl acetate filled with metal hydroxides” (Mazyar Sabet; Azman Hassan; Chantara Thevy Ratnam, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 32(15), str. 1122–1128, sierpień 2013), opisano kompozyty ceramizujące zawierające jako mineralne wypełniacze obok ATH i MDH dodatkowo: kaolin, talk, kredę, mikę, związki molibdenu, boran cynku. Zastosowane dodatki poprawiły odporność kompozytów na ogień, przy czym najtwardszą zgorzelinę uzyskano dla związków molibdenu i boranu cynku.

Znane są ponadto kompozytowe mieszanki ceramizujące zapewniające uzyskanie zgorzeliny o podwyższonej barierowości z zastosowaniem warstwowych glinokrzemianów, które posiadają wysoką wartość współczynnika kształtu i łatwo ulegają modyfikacji powierzchniowej ułatwiającej następnie ich zdyspersjonowanie w matrycy polimerowej.

Przykładowo, w publikacji “Contribution of Nanoclays to the Flame Retardancy of Polyethylene-Based Cable Insulation Materials with Aluminum Hydroxide and Zinc Borate” (C. Kaynak, E. Ibibikan, Journal of Fire Sciences; 32 (2), str. 121–144, Marzec 2014) opisano tworzenie trwałej zgorzeliny w kompozytach stosowanych na osłony kabli, zawierających polietylen niskiej gęstości (LDPE) i kopolimer: poli(etylen-co-octan winylu) (EVA) jako bazę polimerową oraz ATH i boran cynku jako układ uniepalniający i dodatkowo modyfikowany powierzchniowo montmorylonit.

Niemniej jednak, pomimo opracowanych układów uniepalniających, w kompozytach na bazie organicznej matrycy i nieorganicznych wypełniaczy powstanie pod wpływem ognia i/lub temperatury zgorzeliny o dostatecznej wytrzymałości pozostaje nadal ograniczone. W warunkach wystarczająco wysokiej temperatury i dostępu tlenu, powstające podczas pożaru produkty gazowe z wypalania resztek matrycy polimerowej uwięzionej w zgorzelinie powodują jej rozrywanie, a następnie całkowitą destrukcję.

Pomimo częściowej ceramizacji, mieszanki tego typu stosuje się między innymi na powłoki i izolacje bezhalogenowych kabli nierozprzestrzeniających płomienia spełniające wymagania dyrektywy CPR.

Kable ogniotrwałe, oprócz wymagań bezhalogenowości i nierozprzestrzeniania płomienia, muszą spełnić dodatkowe kryteria związane z zachowaniem integralności obwodu elektrycznego przez określony czas w warunkach pożaru. Z punktu widzenia materiałów użytych do budowy tego typu kabli, zwłaszcza powłok, istotne jest zastosowanie mieszanek ceramizujących, które w warunkach pożaru utworzą wokół przewodu lity, twardy spiek, odporny na wysoką temperaturę i zewnętrzne obciążenia mechaniczne, przykładowo strumień wody używany do gaszenia pożaru. Tego typu spieki powstają w kompozytach zawierających w matrycy polimerowej niskotopliwe szkliwa tlenkowe, tzw. fryty szklane.

Fryty szklane to drobno zmielone szkło, którego wielkość ziaren może wynosić od $0,4\div 200\text{ }\mu\text{m}$. W skład fryty mogą wchodzić różne tlenki, przykładowo: Na_2O , K_2O , B_2O_3 , PbO , CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , BaO , ZnO , MgO , Li_2O , ZrO_2 , MnO_2 . Odpowiedni dobór tlenków pozwala uzyskać fryty o różnych temperaturach mięknienia i spiekania. Z punktu widzenia mieszanek ceramizujących pożądanym jest zastosowanie fryt o stosunkowo niskiej temperaturze mięknienia i spiekania, tak aby ceramiczny spiek zaczął tworzyć się jeszcze przed wypaleniem matrycy polimerowej. Stwarza to konieczność stosowania tlenków metali alkalicznych i metali ziem alkalicznych obniżających wprawdzie temperaturę mięknienia fryty, ale cechujących się dużą higroskopijnością, co wiąże się z suszeniem materiału przed przetwórstwem i może wpływać na obniżenie niektórych parametrów samego tworzywa. Dodatkowo istotnym jest zapewnienie odpowiedniego uziarnienia i monodispersyjności proszku fryty dla pomyślnej realizacji procesu spiekania prowadzącego do uzyskania spieku ceramicznego o odpowiedniej odporności mechanicznej. Im większe rozdrobnienie fryty tym lepsza odporność mechaniczna spieku, dlatego w mieszanek ceramizujących pożądanym jest aby wielkość ziaren fryty była rzędu $d_{90} < 1,2\text{ }\mu\text{m}$.

W publikacji „Ceramifying Fire-Resistant Polyethylene Composites” (Wang T., Shao H., Zhang Q., Adv Comp Lett 2010, 19, 175) opisano właściwości termiczne, palność, stabilność wymiarową po obróbce cieplnej i odporność na szoki termiczne, kompozytów ceramizujących bazujących na matrycy z liniowego polietylenu o niskiej gęstości (LLDPE) zawierających jako topnik frytę szklaną (wytworzoną z CaCO_3 , SiO_2 , MgO , B(OH)_3 i ZnO) oraz zmielone włókno szklane typu E.

Wadą zastosowania fryt szklanych jest ich wysoka cena, wynikająca ze specyficznych operacji rozdrabniania oraz konieczność wprowadzania dużej ilości tego materiału do matrycy polimerowej aby uzyskać efekt ceramizacji, co istotnie wpływa na pogorszenie nie tylko warunków przetwórstwa, ale również pogorszenie właściwości mechanicznych tworzywa, zwłaszcza drastyczną utratę elastyczności.

Jednym z wymagań stawianych kompozytowym mieszankom ceramizującym jest niska temperatura mięknienia, tak aby zwilżanie cząstek wypełniaczy przez frytę następowało już w pierwszych etapach pożaru rozpoczynając etap ceramizacji.

Fryty o najniższych temperaturach topnienia uzyskuje się poprzez zastosowanie w kompozycji tlenkowej tlenku ołowiu (PbO), który jest jednak związkiem toksycznym i nie jest pożądane, aby był składnikiem powłok tak zwanych „kablów bezpieczeństwa”.

Ponadto, ze względów związanych z barwieniem powłok kabli według odpowiednich oznaczeń, wskazane jest unikanie w kompozycji tlenkowej barwnych tlenków, przykładowo tlenku manganu, które później trudno jest przebarwić na pożądany kolor.

Wskazano jest natomiast, aby mieszanka ceramizująca zawierała również niepalniacze bezhalogenowe typu wodorotlenku glinu czy wodorotlenku magnezu, dla których dehydratacja zachodzi w temperaturach niższych niż temperatura całkowitej degradacji matrycy polimerowej i mięknięcia fryty szklanej.

Dodatkowo, kompozytowe mieszanki ceramizujące powinny spełniać określone normy przedmiotowe w zakresie właściwości mechanicznych: przed i po starzeniu w różnych środowiskach przykładowo: woda, ozon, rozpuszczalniki organiczne, kwasy czy zasady, a także odporności na niskie i wysokie temperatury, właściwości elektryczne czy toksykologiczne. Spełnienie uregulowań normatywnych przez mieszanki ceramizujące zapewnia prawidłową pracę kabla w normalnych warunkach eksploatacji. Zbiór norm IEC 60811 (EN 60811) zawiera, w poszczególnych częściach, metodykę wielu kluczowych badań dla materiałów niemetalowych stosowanych w kablach oraz przewodach elektrycznych i światłowodowych. Typowo stosowanymi normami zawierającymi wymagania dla bezhalogenowych mieszanek termoplastycznych na powłoki i izolacje kabli są: DIN VDE 0276-604 dla HM4, DIN VDE 0250-214 dla HM2, BS 7655 dla LTS1, LTS2, LTS3, LTS4, EN 50363 dla TM7, TI6, TI7, IEC 60092-359 dla SHF1, gdzie obok podstawowych właściwości przywołane są również wymagania pod kątem spełnienia dyrektywy CPR: ilość wydzielonego dymu i maksymalna zawartość halogenowodorów.

Ponadto, także z literatury patentowej znane są różnego rodzaju kompozytowe mieszanki ceramizujące.

Z amerykańskiego zgłoszenia patentowego US20060068201 znana jest kompozytowa mieszanka ceramizująca zawierająca jako fazę ciągłą organiczny polimer termoplastyczny wybrany z grupy polimerów: olefinowych, winylowych, akrylowych oraz kopolimeru etylenu i octanu winylu (EVA) w ilości od 15 do 75% wag. Faza ciągła mieszanki ceramizującej zawiera ponadto polimer silikonowy w ilości co najmniej 15% wag. Mieszanka zawiera ponadto wypełniacze nieorganiczne: mikę oraz frytę szklaną składającą się z tlenków nieorganicznych: krzemu, glinu, wapnia, manganu baru oraz cynku, w ilości nie mniejszej niż 15% wag. a także talk w ilości od 14 do 52% wag. Własności ceramizujące uzyskuje się przy zastosowaniu PE z dodatkiem polimeru silikonowego jako składnika ułatwiającego proces ceramizacji, co powoduje wzrost ceny mieszanki.

Z międzynarodowego zgłoszenia patentowego WO2016038427 znana jest ponadto kompozytowa mieszanka ceramizująca zawierająca jako fazę ciągłą: kopolimer poli(etilen-co-octan winylu) (EVA) w ilości nie mniejszej niż 60% wag. w odniesieniu do zawartości fazy ciągłej. Jako wypełniacze organiczne mieszanka zawiera natomiast: krzemionkę amorficzną w ilości nie mniejszej niż 25% wag. kompozytowej mieszanki, tlenki alkaliczne w ilości nie mniejszej niż 3% wag, czynnik stabilizujący: MgO, CaO, PbO, B₂O₃ w ilości od 5 do 15% wag. kompozytowej mieszanki oraz do 5% wag. wodorotlenku magnezu lub glinu. Taka mieszanka w niektórych przykładach wykonania nie spełnia jednak wymagań dotyczących integralności powłoki w procesie spalania w temperaturze 1000°C lub wymagań mechanicznych dotyczących wydłużenia wg HM2/ SHF1.

Ponadto, z europejskiego zgłoszenia patentowego EP2879135 znana jest kompozytowa mieszanka ceramizująca do stosowania jako osłona na przewody elektryczne, zawierająca jako fazę ciągłą mieszaninę liniowego polietyleny o niskiej gęstości (LLDPE), kopolimeru etylenowo-octanowy oraz terpolimeru etylenowo-propylenow-dienowego (EPDM). Jako dodatek nieorganiczny mieszanka zawiera: krzemionkę oraz polimer nieorganiczny z grupy poliorganosiloksanów.

Z patentu amerykańskiego US517396 znana jest natomiast kompozytowa mieszanka ceramizująca zawierająca w składzie nieorganiczny tlenek topiący się w temperaturze 350°C to jest tlenek boru, potasu lub ołowiu, tlenek nieorganiczny krystalizujący w temperaturze 650°C oraz materiał polimerowy wybrany z grupy składającej się z: polietyleny (PE), polipropyleny (PP), EPDM, kwasu akrylowego oraz octanu winylu.

Dodatkowo, z międzynarodowego zgłoszenia patentowego W09843251 znana jest kompozytowa mieszanka ceramizująca zawierająca gumę silikonową oraz wypełniacze nieorganiczne, którymi są tlenki: glinu, magnezu, boru, wapnia, strontu, baru, potasu, litu. Mieszanka zawiera ponadto szkło wodne oraz szkło potasowe.

Z przytoczonych powyżej publikacji wynika, iż skład kompozytowych mieszanek ceramizujących podlega ciągłym modyfikacjom oraz jest przedmiotem wielu prac badawczych, obejmujących zastosowanie w mieszankach ceramizujących wypełniaczy wpływających na poprawę właściwości fizycznych, mechanicznych oraz termicznych tego typu mieszanek, a także parametrów powstającej w wyniku pożaru lub oddziaływania wysokiej temperatury zgorzeliny.

Celowym byłoby zatem opracowanie kompozytowej mieszanki ceramizującej wykazującej dobre właściwości przetwórcze oraz użytkowe, a także właściwości zgorzeliny wytwarzającej się w wyniku pożaru lub oddziaływania na mieszankę podwyższonej temperatury, z jednoczesnym zachowaniem niskich kosztów wytworzenia kompozytowej mieszanki ceramizującej.

Przedmiotem wynalazku jest kompozytowa mieszanka ceramizująca, zawierająca: matrycę polimerową na bazie liniowego polietylenu o niskiej gęstości (LLDPE) oraz kopolimeru: poli(etylen-co-octanu winylu) (EVA) oraz fazę rozproszoną w polimerowej matrycy zawierającą: frytę szklaną zawierającą: tlenek wapnia (CaO), tlenek potasu (K_2O), tlenek sodu (Na_2O), tlenek glinu (Al_2O_3), tlenek krzemu (SiO_2), tlenek baru (BaO), tlenek cynku (ZnO), oraz tlenek boru (B_2O_3) oraz wypełniacze mineralne wybrane z grupy składającej się z wodorotlenku glinu (ATH), wodorotlenku magnezu (MDH), talku, kredy oraz krzemionki. Mieszanka charakteryzuje się tym, że jako składniki matrycy polimerowej zawiera ponadto: poli(etylen-co-octanu winylu) szczepiony bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH) oraz co najmniej jeden środek wspomagający przetwórstwo wybrany z grupy składającej się z: mieszaniny kwasów tłuszczowych oraz monostearynianu gliceryny (GMS); przy czym stosunek wagowy składników kompozytowej mieszanki ceramizującej wynosi odpowiednio: od 5 do 15 LLDPE: od 20 do 35 EVA: od 50 do 70 fryta szklana i wypełniacze mineralne: od 2 do 10 EVA-g-MAH: od 1 do 5 GMS; przy jednoczesnym zachowaniu stosunku wagowego składników fryty szklanej i wypełniaczy mineralnych wynoszącego odpowiednio: od 0,5 do 2 fryta szklana: od 0,5 do 1,5 ATH: od 0,5 do 1,5 MDH: od 0 do 1 talk: od 0 do 1 kreda: od 0,5 do 1,5 krzemionka.

Korzystnie, mieszanka zawiera frytę szklaną o wielkości uziarnienia składników nie większej niż $30\text{ }\mu\text{m}$.

Korzystnie, mieszanka zawiera wypełniacze mineralne o wielkości uziarnienia nie większej niż $30\text{ }\mu\text{m}$.

Przedmiot wynalazku przedstawiono poniżej w przykładach wykonania i za pomocą rysunku, na którym,

Fig. 1A–1D przedstawia tabele zestawiające wymagania dla bezhalogenowych tworzyw termoplastycznych stosowanych jako powłoki przewodów elektrycznych do 1kV;

Fig. 2 przedstawia tabelę, w której zestawiono wyniki testów przeprowadzonych dla mieszanki kompozytowej według pierwszego przykładu wykonania według odpowiednich norm;

Fig. 3 przedstawia tabelę, w której zestawiono wyniki testów przeprowadzonych dla mieszanki kompozytowej według drugiego przykładu wykonania według odpowiednich norm.

Kompozytowa mieszanka ceramizująca według wynalazku jest mieszanką bezhalogenową, która może być w szczególności stosowana jako materiał na osłonki izolacyjne przewodów elektrycznych. Kompozytowa mieszanka ceramizująca spełnia wymagania obowiązujących norm dla bezhalogenowych tworzyw termoplastycznych stosowanych na powłoki oraz izolacje kabli, w tym także wymagania dyrektywy CPR.

Kompozytowa mieszanka ceramizująca zawiera:

- fazę ciągłą będącą matrycą polimerową zawierającą: liniowy polietylen o niskiej gęstości (LLDPE) oraz kopolimer: poli(etylen-co-octanu winylu) oraz
- fazę rozproszoną w matrycy polimerowej zawierającą:
 - frytę szklaną zawierającą: tlenek wapnia (CaO), tlenek potasu (K_2O), tlenek sodu (Na_2O), tlenek glinu (Al_2O_3), tlenek krzemu (SiO_2), tlenek baru (BaO), tlenek cynku (ZnO), oraz tlenek (B_2O_3) o temperaturze mięknienia w zakresie od $450\text{--}700^\circ\text{C}$ oraz uziarnieniu w zakresie od $0,1\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$; oraz
 - wypełniacze mineralne: wodorotlenek glinu ($\text{Al}(\text{OH})_3$) (zwany także ATH), wodorotlenek magnezu ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) (znany także MDH), talk, kredę oraz krzemionkę, o uziarnieniu w zakresie $0,1\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$;
- kopolimer: poli(etylen-co-octanu winylu) szczepiony bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH); oraz
- co najmniej jeden środek wspomagający przetwórstwo wybrany z grupy składającej się z: mieszaniny kwasów tłuszczowych oraz monostearynian gliceryny (GMS);

przy zachowaniu stosunku wagowanego składników kompozytowej mieszanki ceramizującej LLDPE : EVA : fryta szklana i napełniacze mineralne : EVA-g-MAH : GMS wynoszącego odpowiednio: od 5 do 15 LLDPE : od 20 do 35 EVA : od 50 do 70 fryta szklana i napełniacze mineralne : od 2 do 10 EVA-g-MAH : od 1 do 5 GMS oraz przy jednoczesnym zachowaniu stosunku: fryta szklana : wodorotlenek glinu (ATH) : wodorotlenek magnezu (MDH) : talk : kreda : krzemionka wynoszącego odpowiednio: od 0,5 do 2 fryta szklana : od 0,5 do 1,5 ATH : od 0,5 do 1,5 MDH : od 0 do 1 talk : od 0 do 1 kreda : od 0,5 do 1,5 krzemionka.

Kompozytowa mieszanka ceramizująca nie zawiera w składzie matrycy polimerowej polimerów z grupy kauczków silikonowych, co zapewniło obniżenie kosztów wytworzenia produktu. Kompozycja zawiera natomiast tańsze polimery: LLDPE oraz EVA oraz środki antypirenowe: ATH oraz MDH, przy jednoczesnym uzyskaniu dobrych parametrów przetwórczych oraz użytkowych uzyskanej kompozytowej mieszanki ceramizującej.

Kompozytowa mieszanka ceramizująca wykazuje dobre właściwości mechaniczne w zakresie wydłużenia oraz naprężenia oraz ma zgodne z obowiązującymi normami wyniki starzenia w wodzie oraz w oleju, co jest związane z zastosowaną zawartością LLDPE w mieszance.

Zastosowanie kopolimeru: poli(etylen-co-octan winylu) szczepionego bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH) w stosunku wagowym wynoszącym od 2 do 10 zapewnia poprawę dyspersji składników antypirenowych ATH oraz MDH w kompozytowej mieszance ceramizującej, co zapewnia tworzenie się *in situ* Al_2O_3 i MgO , które wraz z frytą promują ceramizację w trakcie pożaru lub oddziaływania na mieszankę wysokiej temperatury.

ATH wprowadzony do kompozycji w opisanym powyżej stosunku wagowym, zapewnia obniżenie temperatury w której rozpoczyna się proces ceramizacji mieszanki wynoszącej $650^{\circ}C$ – dla znanych mieszanek zawierających ATH lub MDH; do temperatury wynoszącej $550^{\circ}C$ – dla mieszanki według wynalazku.

Zastosowanie dodatku EVA-g-MAH umożliwiło zatem zastosowanie w mieszance jednocześnie ATH oraz MDH stanowiących bezpieczne dodatki antypirenowe, przy jednoczesnej możliwości całkowitej eliminacji ze składu matrycy polimerowej drogich kauczków silikonowych, które w całości zastąpiono tańszymi polimerami: LLDPE oraz EVA.

Kompozytowa mieszanka ceramizująca zawiera zatem w składzie jednocześnie dwa związki będące promotorami procesu ceramizacji, to jest: ATH oraz MDH, charakteryzując się obniżoną temperaturą w której rozpoczyna się proces ceramizacji oraz jednocześnie charakteryzuje się lepszymi parametrami użytkowymi, w tym wytrzymałością mechaniczną i lepszymi parametrami starzeniowymi.

Ponadto, zastosowanie fryty szklanej oraz napełniaczy mineralnych: talku oraz kredy, zapewniło obniżenie kosztów wytworzenia kompozytowej mieszanki ceramizującej, w porównaniu do znanych mieszanek ceramizujących na bazie polimerów elastomerów, takich jak kauczuki silikonowe.

W celu oceny właściwości kompozytowej mieszanki ceramizującej o podanym powyżej składzie, wytworzoną mieszankę poddano testom zgodnie z normami dotyczącymi wymagań dla bezhalogenowych tworzyw sztucznych termoplastycznych stosowanych jako powłoki na przewody elektryczne do 1kV. Badania mieszanki ceramizującej przeprowadzono zgodnie z następującymi normami: DIN VDE 0250-214 dla HM2, BS 7655 dla LTS1, LTS2, LTS3, LTS4 i IEC 60092-359 dla SHF1, natomiast na Fig. 1A–1D zestawiono w tabeli wyniki testów. Wyniki testów potwierdziły, iż kompozytowa mieszanka ceramizująca spełnia wymagania dla wszystkich wyżej wymienionych norm.

PPRZYKŁADY WYKONANIA KOMPOZYTOWEJ MIESZANKI CERAMIZUJĄCEJ:

P r z y k ł a d I

Fazę rozproszoną kompozytowej mieszanki ceramizującej sporządzono poprzez zmieszanie ze sobą następujących komponentów:

- fryta szklana o temperaturze mięknienia $480^{\circ}C$, rozmiarze ziaren $d_{90} < 4 \mu m$ i następującym składzie tlenkowym: 10%CaO, 2%K₂O, 24%Na₂O, 5%Al₂O₃, 59%SiO₂ - fryta szklana stanowiła łącznie 50 części wagowych fazy rozproszonej,
- wodorotlenek glinu o powierzchni właściwej (BET) $2,5 m^2/g$ i wielkości ziaren $d_{90} < 3,5 \mu m$, stanowiący 100 części wagowych fazy rozproszonej,
- talk o powierzchni właściwej (BET) $14 m^2/g$ i wielkości ziaren $d_{90} < 3,5 \mu m$, stanowiący 50 części wagowych fazy rozproszonej,
- kreda o powierzchni właściwej (BET) $10 m^2/g$ i wielkości ziaren $d_{90} < 4 \mu m$ stanowiąca 50 części wagowych fazy rozproszonej,

- amorficzna krzemionka o powierzchni właściwej (BET) 20 m²/g i wielkości ziaren ok. 0,15 µm, stanowiąca 50 części wagowych fazy rozproszonej.

Tak przygotowaną fazę rozproszoną w łącznej ilości wynoszącej 60 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej dodano w procesie compoudowania do przygotowanej matrycy polimerowej zawierającej:

- kopolimer poli(etylen-co-octan winylu) (EVA) o zawartości octanu winylu 26–28%, wskaźniku szybkości płynięcia 3–4,5 g/10 min i gęstości 0,95 g/cm³, w ilości 25 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej;
- liniowy polietylen o małej gęstości (LLDPE) o wskaźniku płynięcia 1–2 g/10 min i gęstości 0,92 g/cm³, w ilości 9 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej,

oraz zawierającej:

- kopolimer poli(etylen-co-octan winylu) szczepiony bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH) o wskaźniku płynięcia 1,5 g/10 min i gęstości 0,96 g/cm³ w ilości 4 części wagowe kompozytowej mieszanki ceramizującej;
- mieszaninę kwasów tłuszczowych o gęstości 0,96 g/cm³, w ilości 1,5 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej;
- monostearynian gliceryny w ilości 0,5 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej.

Uzyskaną mieszankę ceramizującą poddano testom zgodnie z normą DIN VDE 0250-214, których wyniki zestawiono w tabeli na Fig. 2. Wyniki testów potwierdziły zgodność parametrów uzyskanej kompozycji z normą DIN VDE 0250-214.

P r z y k ł a d II

Fazę rozproszoną kompozytowej mieszanki ceramizującej sporządzono poprzez zmieszanie ze sobą następujących komponentów:

- fryta szklana o temperaturze mięknięcia 510°C, rozmiarze ziaren $d_{90} < 4$ µm i składzie tlenkowym: 10%BaO, 3%CaO, 5%Na₂O, 4%ZnO, 5%Al₂O₃, 13%B₂O₃, 45%SiO₂, 15%MnO₂ – stanowiąca łącznie 100 części wagowych fazy rozproszonej;
- wodorotlenek glinu o powierzchni właściwej (BET) 2,5 m²/g i wielkości ziaren $d_{90} < 3,5$ µm, stanowiący 50 części wagowych;
- amorficzna krzemionka o powierzchni właściwej (BET) 20 m²/g i wielkości ziaren ok. 0,15 µm, stanowiącego 50 części wagowych fazy rozproszonej;
- wodorotlenek magnezu o powierzchni właściwej (BET) 10 m²/g i wielkości ziaren $d_{90} < 2$ µm, stanowiącego 100 części wagowych fazy rozproszonej.

Tak przygotowaną fazę rozproszoną w łącznej ilości wynoszącej 60 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej dodano w procesie compoudowania do przygotowanej matrycy polimerowej zawierającej:

- kopolimer: poli(etylen-co-octan winylu) (EVA) o zawartości octanu winylu 26–28%, wskaźniku szybkości płynięcia 3–4,5 g/10 min i gęstości 0,95 g/cm³, w ilości 26 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej,
- liniowy polietylen o niskiej gęstości (LLDPE) o wskaźniku płynięcia 1–2 g/10 min i gęstości 0,92 g/cm³, w ilości 8 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej;

oraz zawierającej:

- kopolimer poli(etylen-co-octan winylu) szczepiony bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH) o wskaźniku płynięcia 1,5 g/10 min i gęstości 0,96 g/cm³, w ilości 4 części wagowe kompozytowej mieszanki ceramizującej;
- mieszaninę kwasów tłuszczowych o gęstości 0,96 g/cm³, w ilości 1,5 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej; oraz
- monostearynian gliceryny w ilości 0,5 części wagowych kompozytowej mieszanki ceramizującej.

Uzyskaną mieszankę ceramizującą poddano testom zgodnie z normą: DIN VDE 0250-214, których wyniki zestawiono w tabeli na Fig. 3. Wyniki testów potwierdziły zgodność parametrów uzyskanej kompozycji z normą DIN VDE 0250-214.

Zastrzeżenia patentowe

1. Kompozytowa mieszanka ceramizująca, zawierająca:
 - matrycę polimerową na bazie liniowego polietylenu o niskiej gęstości (LLDPE) oraz kopolimeru: poli(etylenu-co-octanu winylu) (EVA); oraz
 - fazę rozproszoną w polimerowej matrycy zawierającą:
 - frytę szklaną zawierającą: tlenek wapnia (CaO), tlenek potasu (K_2O), tlenek sodu (Na_2O), tlenek glinu (Al_2O_3), tlenek krzemu (SiO_2), tlenek baru (BaO), tlenek cynku (ZnO), oraz tlenek boru (B_2O_3) oraz
 - wypełniacze mineralne wybrane z grupy składającej się z wodorotlenku glinu (ATH), wodorotlenku magnezu (MDH), talku, kredy oraz krzemionki;

znamienna tym, że:

 - jako składniki matrycy polimerowej zawiera ponadto:
 - poli(etylen-co-octan winylu) szczepiony bezwodnikiem maleinowym (EVA-g-MAH) oraz
 - co najmniej jeden środek wspomagający przetwórstwo wybrany z grupy składającej się z: mieszaniny kwasów tłuszczowych oraz monostearynianu gliceryny (GMS);
 - przy czym stosunek wagowy składników kompozytowej mieszanki ceramizującej wynosi odpowiednio: od 5 do 15 LLDPE : od 20 do 35 EVA : od 50 do 70 fryta szklana i wypełniacze mineralne : od 2 do 10 EVA-g-MAH : od 1 do 5 GMS;
 - przy jednoczesnym zachowaniu stosunku wagowego składników fryty szklanej i wypełniaczy mineralnych wynoszącego odpowiednio: od 0,5 do 2 fryta szklana : od 0,5 do 1,5 ATH : od 0,5 do 1,5 MDH : od 0 do 1 talk : od 0 do 1 kreda : od 0,5 do 1,5 krzemionka.
2. Mieszanka według zastrzeżenia 1, **znamienna tym**, że zawiera frytę szklaną o wielkości uziarnienia składników nie większej niż $30\text{ }\mu\text{m}$.
3. Mieszanka według dowolnego z powyższych zastrzeżeń, **znamienna tym**, że zawiera wypełniacze mineralne o wielkości uziarnienia nie większej niż $30\text{ }\mu\text{m}$.

Rysunki

Badania powłoki HM2 wg normy DIN VDE 0250-214		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 6.5
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6.5
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max -30
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6.5
Zmiana wytrzymałości po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max -30
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max ± 40
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 20
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	50
Rezystancja powierzchniowa powłoki w temp. $20\pm 5^{\circ}\text{C}$	Ω	min 10^9
Oznaczenie halogenów: pH	-	min 4.3
Oznaczenie halogenów: konduktywność	$\mu\text{S}/\text{mm}$	max 10
Badania powłoki SHF1 wg normy IEC 60092-359		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 9.0
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 7.0
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 110
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 20
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50

Fig. 1A

Rodzaj badania	Jednostka	Wymagania
Badania powłoki LTS 1 wg normy BS 7655 i BS 6724		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 10
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 10
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 10
Zmiana wytrzymałości po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max ± 40
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	-
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 100
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max ± 40
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	-
Zmiana wydłużenia po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 30
Odporność na nawijanie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50
Wytrzymałość na rozdzielanie	N/mm	min 5.0
Oznaczenie halogenów: ilość kwaśnego gazu halogenowego (HCl)	%	max 0.5

Fig. 1B

Badania powłoki LTS 2 wg normy BS 7655		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 6
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 100
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 30
Odporność na nawijanie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $90\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50
Oznaczenie halogenów: ilość kwaśnego gazu halogenowego (HCl)	%	max 0,5
Badania powłoki LTS 3 wg normy BS 7655		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 10
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 10
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 25
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	-
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 100
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	-
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 25
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	-
Zmiana wydłużenia po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 30
Odporność na nawijanie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50
Oznaczenie halogenów: ilość kwaśnego gazu halogenowego (HCl)	%	max 0,5
Rodzaj badania	Jednostka	Wymagania

Fig. 1C

Badania powłoki LTS 4 wg normy BS 7655		
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 10
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 10
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	-
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 100
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w wodzie w temp. $70\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	-
Zmiana wydłużenia po starzeniu w wodzie	%	max ± 30
Podatność na wydłużenie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	%	min 30
Odporność na nawijanie w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na uderzenia w temp. $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$	bez pęknięć	
Odporność na nacisk w temp. $90\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50
Oznaczenie halogenów: ilość kwaśnego gazu halogenowego (HCl)	%	max 0,5

Fig. 1D

Uzyskane wyniki dla powłoki kablowej

Badania powłoki HM2 wg normy DIN VDE 0250-214			
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 6,5	12,1
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6,5	12,6
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max -30	4,1
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6,5	12,2
Zmiana wytrzymałości po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max -30	0,8
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125	131
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100	122
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40	6,9
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100	128
Zmiana wydłużenia po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max ± 40	2,3
Badania powłoki SHF1 wg normy IEC 60092-359			
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 9,0	12,1
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 7,0	12,6
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30	4,1
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125	131
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 110	122
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30	6,9
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50	31
Integralność powłoki (badanie na płytkach)	do 1000°C		pozytywna

Fig. 2

Uzyskane wyniki dla powłoki kablowej

Badania powłoki HML wg normy DIN VDE 0250-214			
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 6,5	11,0
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6,5	10,0
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max -30	9,1
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 6,5	10,5
Zmiana wytrzymałości po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max -30	4,5
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125	128
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100	111
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 40	13,3
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 100	119
Zmiana wydłużenia po starzeniu kompletnego kabla w powietrzu	%	max ± 40	7,0
Badania powłoki SHF1 wg normy IEC 60092-359			
Wytrzymałość na rozciąganie przed starzeniem	MPa	min 9,0	11,0
Wytrzymałość na rozciąganie po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	MPa	min 7,0	100
Zmiana wytrzymałości po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30	9,1
Wydłużenie przy zerwaniu przed starzeniem	%	min 125	128
Wydłużenie przy zerwaniu po starzeniu w powietrzu w temp. $100\pm 2^{\circ}\text{C}/168\text{h}$	%	min 110	111
Zmiana wydłużenia po starzeniu w powietrzu	%	max ± 30	13,3
Odporność na nacisk w temp. $80\pm 2^{\circ}\text{C}/4$ lub 6h	%	max 50	25
Integralność powłoki (badanie na płytkach)	do 1000°C		pozytywna

Fig. 3