

MARIAN ŻENKIEWICZ, STANISŁAW LUTOMIRSKI
Instytut Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych "Metalchem"
ul. M. Skłodowskiej-Curie 55, 87-100 Toruń

Budowa i eksploatacja urządzeń do aktywacji folii tworzywowych

CONSTRUCTION AND OPERATION OF A CORONA-TREATING EQUIPMENT FOR PLASTIC FILM

Summary — General description of a corona-treating equipment for plastic film activation and mechanism of corona discharge creation and plasma generation are presented. Basic parts of corona-treating equipment such as generator unit, high voltage transformer and, most precisely, activating stations have been characterized on the basis of own results and literature data. Main functions and classic grades of discharge electrode sets have been described. Principles of selection and using of the corona-treating equipment are specified. Especially the importance of individual kinds of protection has been marked.

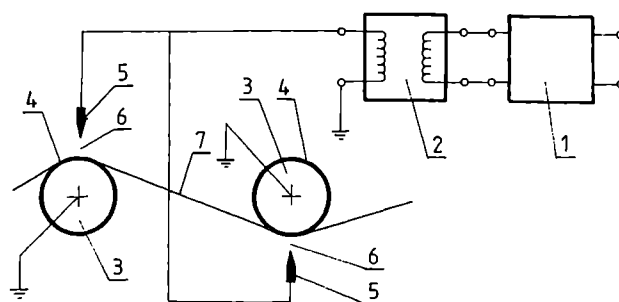
Key words: film activation, corona-treating equipment, activating station, selection and use of corona-treating equipment.

Pierwsze zastosowania metody wyładowań koronowych (zwanej dalej aktywowaniem) do modyfikowania warstwy wierzchniej (WW) tworzyw zostały przedstawione w opisach patentowych [1–3], opublikowanych na początku lat sześćdziesiątych. Metoda ta rozwijała się bardzo szybko, czemu towarzyszyły liczne publikacje [4–22]. W pierwszym okresie stosowano ją głównie w celu modyfikowania WW folii poliolefinowych. Później zakres jej zastosowań znacznie się rozszerzył i obecnie aktywowanie jest najpopularniejszą metodą przemysłowego modyfikowania WW tworzyw [23, 24]. Stosuje się je nie tylko w przypadkach wytworów płaskich, takich jak folie lub płyty, ale również wytworów o kształtach złożonych. Do tych ostatnich zalicza się m.in. tuby, butelki, rury, pojemniki, a także części konstrukcyjne różnych urządzeń. Aktywowanie umożliwia odpowiednie przygotowanie powierzchni i WW wytworów tworzywowych przeznaczonych do procesów drukowania, zdobienia, metalizowania, laminowania i klejenia. Może ono służyć również do modyfikowania WW papieru i kartonu, stosowanych jako materiały opakowaniowe, a także do czyszczenia powierzchni folii aluminiowych [25].

Wyładowania koronowe stanowią istotę aktywowania i zachodzą w przestrzeni wypełnionej powietrzem znajdującym się pod ciśnieniem atmosferycznym. Dlatego urządzenia służące do aktywacji, zwane też dalej aktywatorami, nie muszą mieć szczelnych komór wyładowczych. Jest to istotna zaleta w stosunku do urządzeń, stosowanych w procesie modyfikowania plazmowego, gdyż wpływa na obniżenie kosztów aktywatorów oraz umożliwia łatwe prowadzenie procesów aktywowania w sposób ciągły.

OGÓLNY OPIS AKTYWATORA FOLII

Uproszczony schemat aktywatora przedstawia rys. 1. Schemat ten stanowi również podstawę dalszego opisu działania takiego urządzenia, które można syntetycznie przedstawić w następujący sposób:



Rys. 1. Uproszczony schemat aktywatora folii: 1 — generator, 2 — transformator wysokiego napięcia, 3 — elektroda uziemiona, 4 — izolacja elektrody uziemionej, 5 — elektroda wysokiego napięcia, 6 — szczelina powietrzna, 7 — folia aktywowana (dalsze objaśnienia w tekście)

Fig. 1. Simplified scheme of corona-treating equipment: 1 — generator, 2 — high voltage transformer, 3 — passive electrode, 4 — passive electrode insulation, 5 — high voltage electrode, 6 — air-gap, 7 — activated film (further explanations in the text)

Generator (1) zasilany napięciem sinusoidalnym o standardowych parametrach (częstotliwość $f = 50$ Hz, napięcie jednofazowe $U = 220$ V lub napięcie trójfazowe

$U = 380 \text{ V}$) jest źródłem prądu zmiennego o napięciu $U = 0,5\text{--}4 \text{ kV}$ i częstotliwości $f = 10\text{--}40 \text{ kHz}$.

W transformatorze (2) następuje podwyższenie napięcia, najczęściej do poziomu $10\text{--}25 \text{ kV}$.

Napięcie to jest doprowadzone do układu elektrod (3, 5), z których jedna (3) jest uziemiona. Elektroda uziemiona ma na ogół kształt pokrytego izolacją (4) walca obrotowego i dlatego jest często nazywana elektrodą walcową. Po powierzchni tej elektrody prowadzi się folię (7) poddawaną aktywowaniu. Druga elektroda (5), zwana elektrodą wysokonapięciową, jest najczęściej wykonywana z aluminium. Jedną z odmian tej elektrody ma kształt belki o ostrej krawędzi (stąd nazywana jest czasem elektrodą nożową), ułatwiającej wyładowania koronowe. Szerokość szczeliny (6) między powierzchnią elektrody uziemionej a krawędzią wyładowczą elektrody wysokonapięciowej wynosi najczęściej $1\text{--}3 \text{ mm}$. Wielka częstotliwość napięcia zasilającego układ elektrod powoduje zmniejszenie amplitudy napięcia, odpowiadającego początkowi wyładowań koronowych. Natomiast izolacja elektrody uziemionej zapobiega bezpośredniemu przebiciu i powstawaniu łuku elektrycznego, który może powodować uszkodzenia zarówno aktywowanej folii, jak i urządzenia aktywowującego.

Po włączeniu napięcia zasilającego układ elektrod, rozpoczynają się wyładowania koronowe i proces generowania plazmy, zachodzący w otwartej przestrzeni, w warunkach swobodnego dostępu powietrza. Inicjatorami tego procesu są przypadkowe elektrony znajdujące się w przestrzeni międzyelektrodowej i powstające w wyniku promieniowania kosmicznego oraz elektrony emitowane z elektrody wysokonapięciowej. Elektrony te pod wpływem pola elektromagnetycznego doznają dużego przyspieszenia. Podczas swego ruchu w przestrzeni międzyelektrodowej zderzają się z cząsteczkami powietrza, powodując ich jonizację.

W wyniku lawinowego efektu tego procesu, w przestrzeni międzyelektrodowej powstaje coraz więcej elektronów i jonów. W ten sposób przestrzeń międzyelektrodowa zaczyna przewodzić prąd elektryczny. Czas jaki upływa od chwili doprowadzenia napięcia elektrycznego do chwili rozpoczęcia przepływu prądu jest bardzo krótki i wynosi zaledwie ok. 10^{-7} s . Prąd elektryczny płynący między elektrodami powoduje powstawanie ładunku przestrzennego wskutek gromadzenia się jonów dodatnich przy elektrodzie ujemnej, a elektronów przy elektrodzie dodatniej. Ładunek przestrzenny neutralizuje pole elektromagnetyczne. W przypadku odpowiednio dużej jego wartości, prąd międzyelektrodowy zanika i ustają wyładowania koronowe. Po zmianie biegunowości elektrod, cały proces zaczyna się od początku. Z tego względu istotne znaczenie ma częstotliwość napięcia zasilającego elektrody; wraz ze wzrostem tej częstotliwości, wyładowania koronowe stają się bardziej równomierne, co powoduje lepsze aktywowanie tworzywa.

KONSTRUKCJA AKTYWATORÓW FOLII

Podział ogólny

Aby przeanalizować konstrukcję aktywatora, wygodnie jest dokonać jego podziału na trzy podstawowe części. Pierwszą z nich stanowi zespół generatora napięcia przemiennego wielkiej częstotliwości zawierający zasilacz sieciowy, nastawnik mocy, blokady zewnętrzne, filtr oraz generator, drugą — transformator wysokiego napięcia (TWN), a trzecią — stacja aktywowania.

W tej ostatniej części podstawowym elementem jest wspomniany już układ elektrod, składający się z elektrody wysokonapięciowej (EWN), zwanej też elektrodą wyładowczą, oraz z elektrody uziemionej (EU). Istnieje dużo różnych odmian konstrukcyjnych tych elektrod. Większość z nich można znaleźć głównie w opisach patentowych.

Ponadto w skład stacji aktywowania wchodzi: konstrukcja nośna (obudowa), układ ustawienia elektrod, wyciąg ozonu wraz z absorberem ozonu oraz system zabezpieczeń. W stacji aktywowania zachodzi proces oddziaływania plazmy niskotemperaturowej na aktywowane tworzywo. Dlatego o ile dwie pierwsze części aktywatora (tzn. zespół generatora i transformator) mają charakter uniwersalny, to stacje aktywowania różnią się znacznie pod względem konstrukcyjnym w zależności od rodzaju aktywowanych wytworów.

Konstruowanie aktywatorów wymaga od ich twórców interdyscyplinarnej wiedzy z wielu różnych dziedzin. Wymaga też dużego doświadczenia i znajomości procesów, jakie zachodzą pod wpływem wyładowań niezupełnych w WW tworzywa. Głównym źródłem wiedzy umożliwiającym napisanie niniejszego artykułu są ponad dwudziestoletnie doświadczenia autorów z zakresu konstruowania i wykonywania aktywatorów typu AF, AGL i AGT.

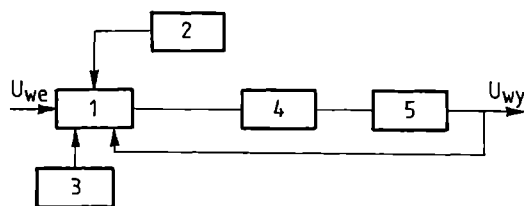
Podczas analizy konstrukcji zespołu generatora pomocna jest podstawowa literatura z dziedziny energoelektroniki [26—33]. Pomocne są tu również najnowsze książki wydane ostatnio w kraju [34, 35].

Zespół generatora

Zespół generatora służy do przetwarzania napięcia przemiennego — jednofazowego lub trójfazowego — jakie występuje w sieci zasilającej aktywator, na napięcie przemiennie wielkiej częstotliwości. Schemat blokowy zespołu generatora przedstawia rys. 2.

Zasilacz sieciowy

W aktywatorach małej mocy (do kilku kW) stosuje się najczęściej zasilanie jednofazowe o napięciu przemianym 220 V i częstotliwości 50 Hz , natomiast w aktywatorach większej mocy — zasilanie trójfazowe. W zasilaczu sieciowym zachodzi przetwarzanie napięcia prze-



Rys. 2. Schemat blokowy zespołu generatora: 1 — zasilacz sieciowy, 2 — nastawnik mocy wyjściowej, 3 — blokady zewnętrzne, 4 — filtr, 5 — generator, U_{we} — napięcie wejściowe, U_{wy} — napięcie wyjściowe

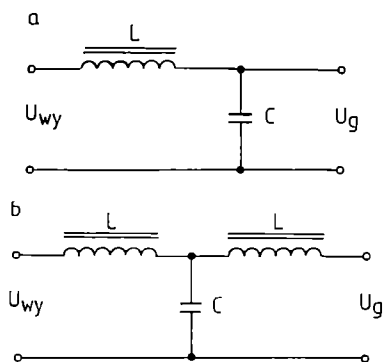
Fig. 2. Block scheme of generator unit: 1— power pack, 2 — power output controller, 3 — outer interlockings, 4 — filter, 5 — generator, U_{we} — input voltage, U_{wy} — output voltage

miennego w napięcie stałe oraz może być dokonywana zmiana wartości skutecznej tego napięcia. W aktywatorach krajowych, wytwarzanych w Instytucie Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych "Metalchem" w Toruniu stosuje się następujące cztery typy zasilaczy sieciowych:

- zasilacz z tyrystorowym mostkiem prostowniczym, stosowany w aktywatorze AF-21;
- zasilacz z diodowym mostkiem prostowniczym, stosowany w aktywatorze AF-1000;
- zasilacz trójfazowy z diodowym mostkiem prostowniczym, stosowany w aktywatorach AGL;
- zasilacz z diodowym mostkiem prostowniczym i z tranzystorowym regulatorem napięcia (typu BUCK), stosowany w aktywatorach typu AGT.

Filtr napięcia zasilającego generator

Napięcie wyjściowe z zasilacza sieciowego ma dużą pulsację, co może powodować niestabilną pracę generatora. Szczególnie dużym współczynnikiem pulsacji cha-



Rys. 3. Schemat filtrów wygładzających: a — filtr typu "gamma", b — filtr typu T; U_{wy} — napięcie wyjściowe z zasilacza, U_g — napięcie wejściowe generatora, C — elementy pojemnościowe, L — elementy indukcyjne

Fig. 3. Smoothing filters' scheme: a — "gamma" type filter; b — T type filter; U_{wy} — output voltage of feeder, U_g — input voltage of generator, C — capacitive elements, L — inductive elements

rakteryzują się zasilacze jednofazowe. W celu zmniejszenia pulsacji tego napięcia, między zasilaczami sieciowymi a generatorem instaluje się filtry wygładzające, które stanowią tu układy LC typu "gamma" lub T (rys. 3). Elementami pojemnościowymi (C) są kondensatory elektrolityczne o pojemności od 1 do 10^4 μ F, a elementami indukcyjnymi (L) — dławiki o indukcyjności od 0,1 do 1 H.

Generator napięcia wielkiej częstotliwości

Generator napięcia wielkiej częstotliwości, będącego napięciem wejściowym TWN, jest najbardziej złożonym układem zespołu generatora i może występować w wielu różnych odmianach. Częstotliwość napięcia wyjściowego różnych typów generatorów mieści się na ogół w przedziale od 10 do 50 kHz. Najczęściej stosuje się częstotliwość z przedziału od 20 do 40 kHz. W aktywatorach produkcji krajowej stosuje się następujące rodzaje generatorów wielkiej częstotliwości:

- generator tyrystorowy w postaci falownika szeregowo-równoległego, stosowany w aktywatorze AF-21;
- generator z tyrystorowym przerywaczem prądu stałego, stosowany w aktywatorze AF-1000;
- generator lampowy, stosowany w aktywatorach AGL;
- tranzystorowy generator AGT, stosowany w aktywatorach AGT.

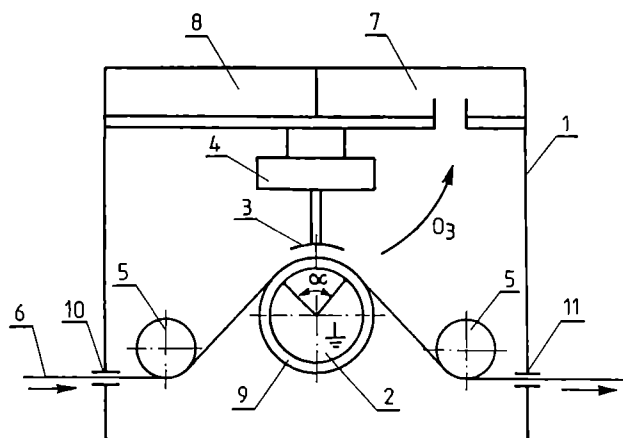
Transformator wysokiego napięcia

W aktywatorze folii transformator wysokiego napięcia (TWN) spełnia różne zadania. Służy on do podwyższenia napięcia generatora (U_g) do takiego poziomu napięcia (U_s), doprowadzanego do elektrod wyładowawczych, aby możliwe były równomierne wyładowania koronowe w przestrzeni międzyelektrodowej. Zwykle amplituda tego napięcia wynosi od 10 do 25 kV. TWN służy również do galwanicznego odseparowania generatora od elektrod wyładowawczych i zawiera uzwojenie pomocnicze, stanowiące źródło sygnału sprzężenia zwrotnego w układzie generatora. W przypadku aktywatora z generatorem lampowym, uzwojenie to jest włączone w obwód siatki triody i stanowi dodatnie sprzężenie zwrotne generatora, natomiast w aktywatorze z generatorem tranzystorowym (typu AGT) stanowi ono źródło sygnału prądowego (ujemnego sprzężenia zwrotnego) służącego do regulacji napięcia U_w a tym samym mocy wyładowań koronowych.

Jedną z bardzo ważnych funkcji TWN jest dopasowanie elektryczne źródła energii elektrycznej, czyli generatora, i jej odbiornika, jakim jest układ elektrod. Polega to na dobraniu takiej impedancji, a głównie reaktancji indukcyjnej uzwojeń TWN, aby spełniała ona w obwodzie elektrycznym, zawierającym generator, TWN i układ elektrod, warunek rezonansu prądów biernych. W warunkach takiego rezonansu sprawność energetyczna aktywatora jest największa.

Stacja aktywowania folii i płyt

Stacja aktywowania folii, przedstawiona na rys. 4, składa się z obudowy (1) wykonanej najczęściej z elementów metalowych, odpornych na korozję, zwłaszcza na utlenianie pod wpływem ozonu, lub elementów stalowych pokrytych farbą ochronną. Wewnątrz obudowy



Rys. 4. Uproszczony schemat stacji aktywowania folii: 1 — obudowa, 2 — elektroda uziemiona (EU), 3 — elektroda wysokonapięciowa (EWN), 4 — mechanizm dokładnego ustawienia EWN, 5 — rolki dociskowe, 6 — folia aktywowana, 7 — wyciąg ozonu (alternatywnie z absorberem ozonu), 8 — układ blokad, zabezpieczeń i pomiarów, 9 — izolacja EU, 10 — wlot folii, 11 — wylot folii, α — kąt opasania EU; szczegółowe objaśnienia w tekście

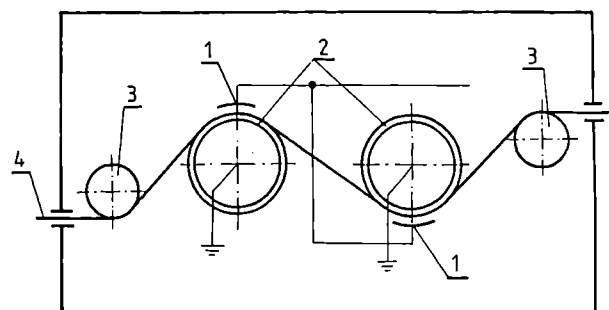
Fig. 4. Simplified scheme of a station of film activation: 1 — casing, 2 — passive electrode (EU), 3 — high voltage electrode (EWN), 4 — mechanism of EWN's precise setting, 5 — pressure rolls, 6 — activated film, 7 — ozone extractor (alternatively with ozone absorber), 8 — unit of interlockings, protections and measurements, 9 — EU insulation, 10 — film inlet, 11 — film outlet, α — angle of contact; explanations in the text

znajduje się elektroda wysokonapięciowa (EWN) (3) i elektroda uziemiona (EU) (2), między którymi rozwijają się wyładowania koronowe. Rolki dociskowe (5) folii aktywowanej (6) można ustawiać w szerokim zakresie (przesuw wzdłuż osi x i y) w stosunku do EU, co powoduje zmianę kąta opasania (α) elektrody uziemionej folią (6). Mechanizm dokładnego ustawiania EWN (4) umożliwia współosiowe ustawienia EWN z EU, zapewnia jednakową szczelinę między EWN i EU oraz pozwala na regulację tej szczeliny w szerokim zakresie, na ogół od ułamka do kilku mm. W niektórych konstrukcjach mechanizm ten ma możliwość odchylenia EWN w celu ułatwienia przeciągania wstęgi folii lub możliwość odchylenia EU w kierunku ruchu wstęgi folii i samoczynnego powrotu do pozycji wyjściowej. Pozwala to na płynne przejście przez przestrzeń międzyelektrodową zgrubionych lub zgrzewanych fragmentów wstęgi folii. Wyciąg (7) instaluje się w celu usunięcia ozonu,

powstającego podczas wyładowań koronowych. Ozon ten na ogół wyprowadza się na zewnątrz budynku za pomocą wentylatora wyciągowego i systemu przewodów. Ostatnio coraz częściej stosuje się absorbery tego gazu. Na stanowisku pracy chwilowe stężenie ozonu w powietrzu nie może przekroczyć 0,05 ppm, a długotrwale 0,015 ppm, co odpowiada 0,1 i 0,03 mg/m³. Gaz ten działa toksycznie na organizm człowieka (przede wszystkim na krtani oraz oczy) i z tego powodu musi być przedmiotem szczególnej kontroli.

Układ (8) zawiera najczęściej takie elementy, jak blokadę drzwiową, detektor ruchu folii (obrotu EU), akustyczny alarm awarii, licznik czasu działania stacji aktywowania oraz urządzenie do pomiaru prędkości przesuwu folii. Podczas doboru materiałów na poszczególne elementy stacji aktywowania należy uwzględnić fakt, że pracują one w atmosferze ozonu i w związku z tym muszą być odporne na jego działanie. Stacja aktywowania sztywnych płyt tworzywowych nie zawiera na ogół rolek dociskowych.

Schemat przedstawiony na rys. 4 obrazuje proces jednostronnego aktywowania folii. W przypadku konieczności aktywowania dwustronnego stosuje się dwie pary elektrod, co schematycznie ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Uproszczony schemat stacji dwustronnego aktywowania folii: 1 — EWN, 2 — EU, 3 — wałki prowadzące folię (4), 4 — folia aktywowana (symbole wg rys. 4)

Fig. 5. Simplified scheme of a station of double-sided film activating: 1 — EWN, 2 — EU, 3 — film guiding rollers (4), 4 — activated film (symbols as in Fig. 4)

Podstawowym elementem stacji aktywowania jest układ elektrod wyładowczych. Spełnia on różne funkcje, a przede wszystkim:

— Tworzy bieguny pola elektromagnetycznego o zmiennej polaryzacji, powstającego w przestrzeni międzyelektrodowej, a tym samym stwarza warunki do powstawania i rozwoju wyładowań koronowych.

— Stanowi (wraz z folią aktywowaną) odbiornik energii, przekształcając jednocześnie część energii pola elektrycznego w energię plazmy niskotemperaturowej. Parametry tego układu determinują warunki elektrycznego dopasowania źródła i odbiornika.

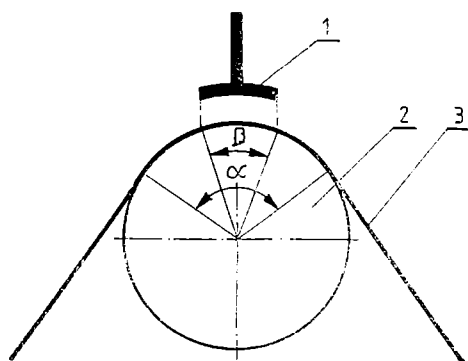
— Tworzy, w przypadku elektrody walcowej zamocowanej obrotowo, element nośny aktywowanej folii.

Realizacja każdej z przedstawionych funkcji narzuca pewne wymagania w stosunku do konstrukcji tego układu. Do najważniejszych z nich należy właściwe ukształtowanie elektrod, tak aby powodowały one silne zniekształcenie pola elektromagnetycznego w przestrzeni międzyelektrodowej. Jest to konieczne w celu uzyskania odpowiednio wysokiego natężenia tego pola, a tym samym odpowiedniego natężenia przepływu strumienia plazmy.

Długość elektrod wynika z szerokości folii aktywowanej, a szczelina powietrzna pomiędzy elektrodami powinna być, ze względu na sprawność energetyczną urządzenia aktywującego, możliwie mała — na ogół nie większa niż 3 mm. Grubość warstwy materiału izolacyjnego EU, która jest określona przez wytrzymałość dielektryczną i trwałość tego materiału, nie zawsze wystarcza do utworzenia pojemności spełniającej kryterium rezonansu.

Istotnym warunkiem stawianym układowi elektrod jest zachowanie dopuszczalnych tolerancji współosiowości pomiędzy EU i EWN. Konieczne jest też zachowanie dopuszczalnych tolerancji ich liniowości oraz płaskości. Są to niezbędne warunki utrzymania stałego wymiaru szczeliny międzyelektrodowej podczas obrotu EU, w zakresie nie powodującym zmian natężenia wyładowań niezupełnych. Wyniki badań autorów nad układem elektrod długości 840 mm, z EU średnicy 80 mm, wskazują na to, że tolerancje prostoliniowości i płaskości elektrod powinny wynosić 25 μm , a tolerancje współosiowości elektrod — 30 μm .

Do grupy najważniejszych wymagań należy również wyeliminowanie możliwości powstawania wyładowań zwrotnych, powodujących aktywowanie przeciwnej strony folii. Należy unikać takich wyładowań, poza przypadkami, w których aktywowanie dwustronne jest wymagane ze względu na zastosowanie folii. Oprócz bezpośredniego przylegania aktywowanej folii do EU, warunkiem uniknięcia wyładowań zwrotnych jest spełnienie zależności $\alpha > 3\beta$, w której kąty α i β przedstawia rys. 6.

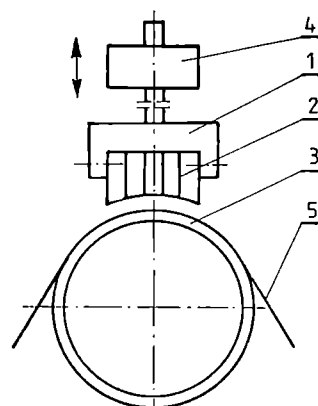


Rys. 6. Sposób wyznaczania kątów α i β ; 1 i 2 — jak na rys. 5, 3 — folia aktywowana

Fig. 6. A method for determination of α and β angles; 1 and 2 — as in Fig. 5, 3 — activated film

Niezależnie od przedstawionych wymagań, układ elektrod powinien charakteryzować się jak najmniej szym momentem bezwładności EU, jak najmniejszymi oporami tarcia w łożyskach EU, możliwością łatwego i dokładnego ustawiania szczeliny pomiędzy EU i EWN oraz odpornością na korozyjne działanie ozonu.

Najstarszy i szeroko stosowany jest układ elektrod, składający się z EWN wykonanej z niezolowanego metalu i EU w postaci uziemionego walca metalowego, pokrytego izolacją dielektryczną. Ze względu na odporność w stosunku do utleniającego działania ozonu, najczęściej stosowanymi materiałami na EWN są stopy aluminium i stal nierdzewna. Znane są EWN w kształcie pręta o przekroju kołowym, prostokątnym lub trójkątnym, pręta o zewnętrznej powierzchni wykonanej w postaci gwintu oraz EWN igłowe. Nowszą konstrukcją stanowią tzw. EWN wielosegmentowe (rys. 7).

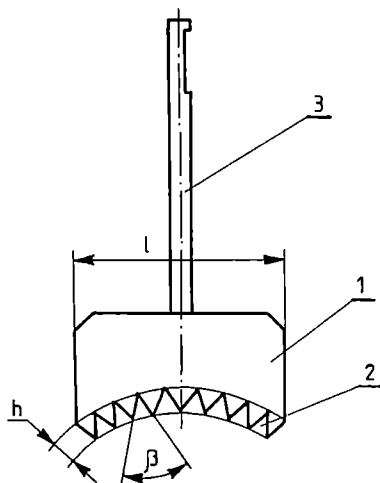


Rys. 7. Wielosegmentowa EWN: 1 — uchwyt mocujący, 2 — pojedynczy segment EWN, 3 — EU, 4 — mechanizm ustawiania szczeliny między elektrodami, 5 — folia aktywowana

Fig. 7. Multisegment EWN: 1 — fastening holder, 2 — single segment of EWN, 3 — EU, 4 — mechanism of setting a gap between electrodes, 5 — activated film

Kształt EWN, a w szczególności jej szerokość i promień krzywizny powierzchni czynnej, wywiera wpływ na efektywność aktywowania. Optymalizacja zużycia energii w procesie aktywowania wiąże się m.in. z doborem odpowiedniego czasu oddziaływania plazmy na tworzywo; w przypadku ustalonej prędkości przesuwu aktywowanego materiału, czas ten zależy od szerokości EWN. O energii kinetycznej zjonizowanych cząsteczek decyduje natomiast niejednorodność (gradient natężenia) pola elektromagnetycznego w przestrzeni międzyelektrodowej — wraz ze wzrostem niejednorodności rośnie energia kinetyczna cząstek plazmy. Niejednorodność pola zależy od kształtu powierzchni wyładowczej, tzn. głównie od promieni krzywizny ostrzy, z których rozwijają się wyładowania.

Te zależności stanowią podstawę doboru kształtu EWN w klasycznych układach elektrod. Jedno z takich rozwiązań przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Elektroda wysokonapięciowa: 1 — podstawa, 2 — powierzchnia czynna w postaci ostrzy o zarysie trójkąta, 3 — uchwyt, l — szerokość czynna, h — wysokość ostrza, β — kąt między ostrzami i elektrodą

Fig. 8. High voltage electrode: 1 — base, 2 — active surface in form of triangle shaped blades, 3 — holder, l — active width, h — blade depth, β — angle between blades and electrode

Badania wykazały, że wysokość ostrza (h) powinna wynosić od 3 do 6 mm, a kąt β powinien być mniejszy niż 45° . W przypadku prędkości przesuwu folii do 150 m/min wystarczająca jest szerokość czynna EWN (l) od 30 do 40 mm.

Pomimo, że w klasycznych układach elektrod wyładowczych występują różne EWN, to jednak podstawy fizyczne doboru ich kształtu i wymiarów są w przybliżeniu takie same. Właściwy dobór grubości i rodzaju materiału izolacyjnego EU oraz technologii pokrywania tym materiałem rdzenia metalowego decydują o warunkach wyładowań niezupełnych oraz o trwałości izolacji.

Znane są następujące rodzaje izolacji EU:

- poliestrowa,
- epoksydowa,
- z utwardzonej kompozycji żywica poliestrowa / włókno szklane,
- gumowa z wulkanizowanej gumy silikonowej,
- szklana,
- ceramiczna ze specjalnych materiałów, których skład i technologia nie są ujawniane przez ich producentów.

Istnieje również wiele niekonwencjonalnych układów elektrod w różnych typach aktywatorów do zastosowań specjalnych, które nie są tu wymienione.

Dobór i eksploatacja aktywatorów

Dobierając aktywatory do danego procesu aktywowania należy uwzględnić wiele różnych czynników. Są one zamieszczone w specjalnych ankietach dostarczanych przez producentów tych urządzeń. Decydujące

znaczenie mają tu: rodzaj aktywowanego materiału, prędkość jego przesuwu przez strefę wyładowań koronowych oraz wymagany wzrost swobodnej energii powierzchniowej podczas procesu aktywowania. Najbardziej podatne na działanie wyładowań koronowych (tzn. wymagające najmniejszej energii jednostkowej w procesie aktywowania) są folie PET, a najmniej podatne — folie PE o dużej zawartości środków poślizgowych, smarujących i antyblokujących.

Bardzo ważną cechą urządzenia aktywującego jest jego niezawodność eksploatacyjna. Obecnie wytwarzane generatory i TWN osiągnęły pod względem technologicznym wysoki poziom. Trwałe i niezawodne są także elektrody z izolacją ceramiczną, lecz pewne ograniczenie w stosowaniu wynika z bardzo wysokiej ich ceny, natomiast tańsze elektrody, wyposażone w izolację w postaci nakładanej elastycznej rury z gumy silikonowej, ulegają dość szybko uszkodzeniom pod wpływem wyładowań koronowych. Trwalsza jest izolacja z gumy silikonowej, formowana bezpośrednio na walcu metalowym elektrody; w przypadku uszkodzeń, izolację tę można stosunkowo łatwo naprawić.

Ważną cechą eksploatacyjną urządzenia aktywującego są jego możliwości manewrowe. Dotyczą one zarówno zakresu i sposobu nastawiania mocy wyładowań koronowych, jak i możliwości nastawczych elementów stacji aktywowania. W przypadkach, gdy stawia się niewielkie wymagania dotyczące zakresu zmienności mocy wyładowań (np. eksploatacja urządzenia w linii technologicznej wytwarzającej jeden rodzaj folii, z niewielkimi zmianami prędkości jej przesuwu) można stosować urządzenia aktywujące o stosunkowo niewielkim zakresie nastawiania mocy, np. 1:2, natomiast w razie dużych zmian właściwości aktywowanych wytworów stosuje się urządzenia o zakresie zmian mocy wyładowań dochodzącym do 1:50.

Istotne cechy omawianych urządzeń to zakres i dokładność nastawiania poszczególnych elementów stacji aktywowania, czyli szczeliny między elektrodami (zakres nastawiania od 1 do 5 mm), równoległości położenia elektrod (tzn. stała odległość między elektrodami na całej ich długości) oraz szerokości aktywowania.

Równoległe ustawienie elektrod jest podstawowym warunkiem równomiernego aktywowania całej powierzchni folii, natomiast swobodne regulowanie szerokości aktywowanego pasma pozwala na uniknięcie aktywowania tych fragmentów folii, które później zostają zgrzewane. Dotyczy to przede wszystkim folii PP z warstwą zgrzewalną. Możliwość regulacji szerokości pasma wyładowań koronowych pozwala również na uniknięcie wyładowań poza wstęgą aktywowanej folii, tzn. bezpośrednio na izolację elektrody uziemionej, i tym samym zmniejsza niebezpieczeństwo uszkodzenia tej izolacji. W takich przypadkach najlepiej stosować elektrody segmentowe.

Ze względów eksploatacyjnych należy zwrócić uwagę na sposób przeprowadzania (tzw. zaciąganie) folii

przez stację aktywowania, podczas uruchamiania linii technologicznej. Łatwe w obsłudze są tu stacje aktywowania mające dzieloną konstrukcję, umożliwiającą swobodne odchylenie EWN.

W eksploatacji urządzenia do aktywacji ważną rolę odgrywają układy zabezpieczeń. Do najbardziej niezbędnych zabezpieczeń zalicza się następujące:

- od zwarć w układzie elektrod, TWN lub w przewodach toru energetycznego;
- od chwilowych i długotrwałych przeciążeń;
- zabezpieczenia termiczne, stanowiące ochronę najbardziej narażonych elementów generatora przed przekroczeniem dopuszczalnej temperatury ich pracy;
- zabezpieczenia przed działaniem urządzenia w przypadkach zatrzymania folii lub gdy prędkość jej przesuwu spadnie poniżej zadanej wartości;
- zabezpieczenia przed porażeniem prądem elektrycznym personelu obsługi urządzenia.

Odrębną grupę problemów stanowią zakłócenia elektromagnetyczne. Rozpatrywać tu należy zarówno odporność aktywatora na zakłócenia zewnętrzne, jak i na zakłócenia generowane przez aktywator, który na ogół kwalifikuje się jako urządzenie o poziomie zakłóceń "W", dopuszczonych w liniach przemysłowych.

PODSUMOWANIE

Początki rozwoju konstrukcji aktywatorów przypadają na lata 60., a oryginalne konstrukcje krajowe pojawiły się przed ok. 20 laty. Obecnie dostępna jest już duża liczba różnych typów tych urządzeń. Pod względem ilościowym wyraźnie dominują aktywatory do folii tworzywowych, głównie z PE i PP, o mocach nieprzekraczających 10 kW.

Wspomniany już podział aktywatora na trzy podstawowe podzespoły — generator, transformator wysokiego napięcia i stacja aktywowania — odzwierciedla również różnorodność problemów teoretycznych i technologicznych, związanych z projektowaniem, wykonywaniem i eksploatacją każdego z tych podzespołów. W przypadku generatora, problemy te można zaliczyć do grupy zagadnień z zakresu energoelektroniki, które obecnie są rozwiązywane w stopniu umożliwiającym budowę niezawodnych generatorów, o szerokich możliwościach regulacyjnych.

Ze względu na różne funkcje, jakie pełni TWN, konieczne jest m.in. dokładne określenie pojemności układu elektrod w warunkach dynamicznych. Ponadto należy pogodzić przeciwstawne niekiedy wymagania między wymiarami izolacji, odstępami izolacyjnymi, wymiarami rdzenia i kosztami TWN. Korzystne jest stosowanie rdzeni ze spiekanych materiałów ferrytowych, ponieważ pozwala to na zmniejszenie strat cieplnych, związanych z prądami wirowymi.

Najwięcej różnorodnych rozwiązań konstrukcyjnych występuje w stacjach aktywowania. W przypadku aktywowania folii lub płyt najczęściej stosuje się stacje aktywowania z metalową, nieizolowaną elektrodą wysokiego napięcia i uziemioną, izolowaną elektrodą walcową. Coraz częściej stosuje się nadmuchiwane gorącego gazu do strefy międzyelektrodowej, co pozwala na osiąganie różnych korzystnych efektów aktywowania, zależnych od rodzaju gazu i jego temperatury.

Podjęte w ostatnich latach prace nad budową układów do ciągłego pomiaru efektów aktywowania doprowadziły do powstania kilku interesujących konstrukcji. Jednak dotychczas układy te nie znalazły szerszego zastosowania w przemyśle.

Rodzaj aktywatora i jego parametry muszą być dobrane indywidualnie, z uwzględnieniem wymaganych efektów aktywowania i właściwości aktywowanego materiału, natomiast jednostkowa energia aktywowania powinna być ustalana na podstawie badań wstępnych. Najlepsze efekty uzyskuje się wówczas, gdy aktywowanie danego wytworu następuje bezpośrednio po jego wytworzeniu.

Współczesne urządzenia aktywujące osiągnęły już wysoki poziom techniczny. Charakteryzują się one dużą trwałością i niezawodnością eksploatacyjną. Są łatwe w obsłudze a ich konserwacja nie wymaga dużych nakładów. Kompleksowe układy zabezpieczeń chronią skutecznie poszczególne elementy aktywatora przed poważniejszymi uszkodzeniami i zabezpieczają przed porażeniami prądem elektrycznym.

LITERATURA

1. Pat. USA 3 018 189 (1962).
2. Pat. USA 3 640 733 (1962).
3. Pat. USA 3 113 208 (1963).
4. Coffman J. A., Browne W. R.: *Scientific Amer.* 1965, 212, 90.
5. Kim C. Y. i in.: *J. Appl. Polym. Sci.* 1971, 15, 1365.
6. Kim C. Y., Goring D. A. I.: *J. Appl. Polym. Sci.* 1971, 15, 1557.
7. Stradal M., Goring D. A. I.: *Polym. Eng. Sci.* 1977, 17, 38.
8. Salmen L. M.: *Pap. Film Foil Cons.* 1977, October, 94.
9. Sonkin R. M.: *Plast. Eng.* 1977, February, 50.
10. Sherman P. B.: *Coating* 1977, nr 1—3, 13.
11. Jones C. B.: 37th Soc. Plast. Eng. Ann. Tech. Conf., New Orleans 1979, materiały konferencyjne, str. 724.
12. Spell H. L., Christenson C. P.: *Tappi* 1979, 62, 77.
13. Carley J. F., Kitz P. T.: odczyt [11], str. 728.
14. Van der Linden R.: *Kunststoffe* 1979, 69, 71.
15. Mynard P. W.: *Pap. Film Foil Cons.* 1979, January, 86.
16. Van der Linden R.: *Polym. Sci. Technol.* 1980, 12B, 563.
17. Rinker J. W.: *Pap. Film Foil Cons.* 1980, July, 45.
18. Żenkiewicz M.: *Inż. Ap. Chem.* 1981, Nr 3, 26.
19. Żenkiewicz M.: *Inż. Ap. Chem.* 1981, Nr 5, 26.

20. Żenkiewicz M.: *Inż. Ap. Chem.* 1987, Nr 2, 8.
21. Żenkiewicz M. i in.: "Aktywowanie powierzchni tworzyw sztucznych metodą wyładowań elektrycznych. Nowoczesne przemysłowe technologie elektrostatyczne". Polit. Białostocka, Białystok 1986.
22. Lekan S. F.: *Laminations and Coatings Conf.*, San Francisco 1987, materiały konferencyjne, str. 273.
23. Żenkiewicz M.: *Polimery* 2000, 45, 81.
24. Żenkiewicz M.: *Polimery* 2000, 45, 701.
25. Gayner H.: odsyłacz [11], str. 89.
26. Ryżko S., Ebert J.: "Wzmacniacze rezonansowe i generatory mocy wielkiej częstotliwości", WNT, Warszawa 1968.
27. Ebert J., Fiok A.: "Obliczanie wzmacniaczy i generatorów mocy wielkiej częstotliwości", WNT, Warszawa 1971.
28. Pawłowski J.: "Podstawowe układy elektroniczne — wzmacniacze i generatory", WKiŁ, Warszawa 1980.
29. Nowak M. i in.: "Układy przekształtnikowe w elektronice przemysłowej", WKiŁ, Warszawa 1980.
30. Tunia H. i in.: "Układy energoelektroniczne — obliczanie, modelowanie, projektowanie", WNT, Warszawa 1982.
31. Tunia H., Winiarski B.: "Energoelektronika", WNT, Warszawa 1994.
32. Mućko J. i in.: "Falownik z tranzystorami IGBT do aktywacji folii polietylenowej", V Sympozjum "Podstawowe Problemy Energoelektroniki" Gliwice — Ustroń 1993.
33. Mućko J.: *Przegląd elektrotech.* 1995, 71, nr 4, 97.
34. Urbaniak Z.: "Zgrzewanie tworzyw sztucznych. Zgrzewarki i generatory", WNT, Warszawa 1997.
35. Dmowski A.: "Energoelektroniczne układy zasilania prądem stałym w telekomunikacji i energetyce", PWN, Warszawa 1998.

Otrzymano 6 IV 2000 r.

Co w następnym zeszycie

Zeszyt 5/2001 jest poświęcony zagadnieniu zastosowania obliczeniowych metod komputerowych w chemii, fizyce i technologii polimerów. Ukażą się w nim następujące artykuły.

— Określanie trójwymiarowych naprężeń wokół mikrowtrąceń w polimerach z zastosowaniem elastooptyki

— Metamorfoza wielościanów Voronoia jako określona miara przemiany przemieszczenia atomowego ze stanu elastycznego w rozproszony (*wersja angielska*)

— Zastosowanie charakterystyki Eulera do badań mieszanin homopolimerów oraz stopionych kopolimerów (*wersja angielska*)

— Krystalizacja sferolityczna polimerów — modelowanie i symulacja komputerowa

— Komputerowe modelowanie procesu formowania włókien ze stopionego polimeru krystalizującego. Cz. I. Model matematyczny

— Punkt żelowania w wybranych modelach polimeryzacji z sieciowaniem

— O dyfuzji w membranach z polimerów szklistych w indukowanym polu naprężeń

— Symulacja wtryskiwania wielokrotnie przetwarzanych wybranych termoplastów

— Kompleksy metali przejściowych z zasadami Lewisa jako prekursorzy katalizatorów polimeryzacji olefin. Cz. I. Postęp w komputerowym modelowaniu struktury katalizatora polimeryzacji