

PODSUMOWANIE

Jak zostało to zauważone w *Części teoretycznej* niniejszej pracy trudno w dzisiejszych czasach wyobrazić sobie produkcję materiałów opakowaniowych do kontaktu z żywnością bez zastosowania poligraficznych lakierów. Z jednej strony lakiery jako ostatnia poligraficzna warstwa chronią powierzchnie opakowań przed warunkami zewnętrznymi, zaś z drugiej nadają im wysokie walory estetyczne, nadają im wyrazistość poprzez wydobywanie głębi barw. Obecnie w przemyśle poligraficznym najczęściej stosuje się akrylowe lakiery utrwalane promieniowaniem UV. Takie lakiery w swoim składzie zawierają niskocząsteczkowe fotoinicjatory, które inicjują proces polimeryzacji lakierowej warstwy. Należy zaznaczyć, że fotoinicjatory to niebezpieczne związki, które mają niekorzystny wpływ na zdrowie ludzkie. Mogą bardzo łatwo, w sposób bezpośredni lub pośredni, migrować poprzez kolejne poligraficzne warstwy do zapakowanej żywności. Z tego powodu ich migrację powinno się monitorować.

Powszechnie uważa się, że silne sieciowanie warstwy lakieru poprzez użycie znacznych dawek promieniowania UV jest najprostszym sposobem ograniczenia migracji szkodliwych fotoinicjatorów. Dlatego w pierwszym etapie badań postanowiono sprawdzić, czy wielkość dawki promieniowania UV zastosowanej do utwardzania lakieru ma wpływ na stopień migracji fotoinicjatora do żywności. Szczegółowe badania wykazały, że wzrost dawki promieniowania UV stosowanego do utwardzania poliakrylanowego lakieru powoduje początkowo spadek, a następnie wzrost migracji 4-PBZ z warstwy poligraficznego lakieru. Formułując to inaczej, że istnieje optymalna dawka promieniowania UV, przy której stopień migracji fotoinicjatora jest najmniejszy. Bardziej dokładne eksperymenty dowiodły jednak, iż powierzchnia utwardzanego lakieru pod wpływem promieniowania UV staje się chropowata i że istnieje ścisła relacja pomiędzy wielkością tej chropowatości (która jest zależna od dawki UV) a wielkością migracji fotoinicjatora. Powstałe powierzchniowe niejednorodności utrudniają proces przenoszenia masy fotoinicjatora z warstwy lakieru do modelowej cieczy. Zmienność powierzchniowej topografii lakieru wywołana zmienną dawką UV zmienia opór w przenoszeniu masy fotoinicjatora z fazy do fazy (z lakieru do modelowego płynu). Uzyskane w tych badaniach wyniki wskazały także iż do oceny rzeczywistej wielkości migracji fotoinicjatora z chropowatych powierzchni lakierowych konieczna jest albo modyfikacja zalecanej procedury badawczej poprzez

wydłużenie procesu ekstrakcji albo wyznaczenie kinetyki procesu ekstrakcji fotoinicjatora z lakierowej warstwy do płynu modelowego.

Podczas tworzenia poligraficznych kompozycji lakierów przeznaczonych do kontaktu z żywnością szczególną uwagę zwraca się na zawartość w nich szkodliwych fotoinicjatorów. W celu znacznego ograniczenia migracji fotoinicjatorów z lakierowej warstwy do żywności ich stężenie powinno być niskie. Z drugiej jednak na tyle wysokie aby lakier posiadał zakładane właściwości fizyczne, które zależą nie tylko od stężenia fotoinicjatora, ale także od rodzaju materiału drukowego. Mając to na względzie w kolejnym bloku tematycznym badano wpływ stężenia fotoinicjatora (4-PBZ) na stopień jego migracji z utrwalonych polimerowych warstw utworzonych na wybranych materiałach drukowych sieciując je stałą dawką promieniowania UV. Uzyskane wyniki pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

- ✓ stopień migracji 4-PBZ zależy od jego stężenia w lakierze i od rodzaju materiału drukowego. Najniższy stopień migracji obserwuje się z powłok utworzonych na folii PE, natomiast najwyższy z powłok utworzonych na podłożu papierowym,
- ✓ powierzchnie lakierów utworzonych na wszystkich materiałach drukowych są chropowate. Wielkość chropowatości zależy zarówno od rodzaju materiału drukowego jak i od stężenia fotoinicjatora. Efekt ten jest mniej widoczny przy stosowaniu wyższego stężenia 4-PBZ w poligraficznym lakierze.
- ✓ wyniki wykazują na brak związku między chropowatością powierzchni materiału drukowego i chropowatością powierzchni utworzonej na nim warstwy lakieru
- ✓ rodzaj zastosowanego materiału drukowego jako nośnika dla poligraficznego lakieru ma wpływ na jego statyczny i dynamiczny współczynnik tarcia.
- ✓ Ilość fotoinicjatora wymagana do utworzenia lakierowej warstwy o korzystnych właściwościach fizycznych na folii PE jest, w odniesieniu do innych materiałów drukowych, stosunkowo niska. Badania wykazały, że folia PE zawiera w swojej strukturze dodatki polimerowe, które mogą także sieciować warstwę lakieru lub katalizować proces jej sieciowania.

Jak zauważono wyżej, stopień migracji 4-PBZ z poligraficznej warstwy lakieru zależy nie tylko od jego stężenia w lakierze, ale także i od rodzaju materiału drukowego.

Z drugiej strony wykazano, że na stopień migracji fotoinicjatora z warstwy lakieru utworzonej na powierzchni folii Al ma wpływ dawka promieniowania UV, którą użyto w procesie utrwalania warstwy. Dlatego też postanowiono sprawdzić jaki jest wpływ dawki promieniowania UV na stopień migracji fotoinicjatora z warstw lakieru utworzonych na różnych podłożach drukowych. W badaniach tych wykorzystano większą niż poprzednio liczbę materiałów drukowych tworząc na nich warstwy poliakrylanowego lakieru zawierające stałe stężenie fotoinicjatora 4-PBZ. Uzyskane wyniki pozwoliły sformułować poniższe wnioski:

- ✓ w przypadku każdego podłoża wzrost dawki promieniowania UV stosowanego do utwardzania poliakrylanowego lakieru powoduje spadek, a następnie wzrost migracji 4-PBZ z warstwy. Zależność tak potwierdza słuszność wcześniej uzyskanych wyników.
- ✓ na poziom migracji fotoinicjatora z warstw lakierowych zdeponowanych na podłożach papierowych ma wpływ gramatura tego podłoża
- ✓ fizyczne właściwości warstwy lakieru (statyczny i dynamiczny współczynnik tarcia) zależą zarówno od dawki promieniowania UV zastosowanej do utrwalenia warstwy jak i rodzaju podłoża (jego chropowatości czy gramatury).

Poza tym uzyskane rezultaty sugerują, że obniżona migracja fotoinicjatora z warstw lakieru utrwalonych na foliach PE i PP (w porównaniu do pozostałych zastosowanych podłoży) jest efektem zwiększonego stopnia usieciowania tych warstw dzięki obecności w w/w podłożach substancji przyspieszających proces utrwalania.

Jak zauważono w *Części teoretycznej* proces sieciowania poligraficznych powłok jest obecnie prowadzony głównie przy pomocy systemów z klasycznymi lampami UV. Mimo to współczesne zakłady poligraficzne coraz częściej zwracają uwagę na możliwość wykorzystania w tym celu systemów z nowoczesnymi lampami LED. Jednym z powodów powolnych przemian w tym względzie jest ograniczona liczba dostępnych na rynku fotoinicjatorów przeznaczonych do inicjowania procesu polimeryzacji poligraficznych powłok w systemach LED. Jedynym fotoinicjatorem dopuszczonym do kontaktu z żywnością, dostępnym na rynku w ilościach pozwalających na wykorzystanie w masowej produkcji poligraficznej jest TPO-L. Przeprowadzone z jego użyciem badania wskazują, że:

- ✓ w przypadku obu źródeł promieniowania wzrost dawki UV zastosowanej do utwardzania poliakrylanowego lakieru powoduje spadek, a następnie wzrost

migracji TPO-L z warstwy. (Jest to analogiczna relacja do tej jaką obserwuje się w przypadku wcześniej opisanego fotoinicjatora.) Należy jednak zauważyć, że stopień migracji fotoinicjatora z warstw utrwalanych lampą LED jest większy niż klasyczną lampą UV. Różnica w migracji z warstw utrwalanych różnymi lampami wynika z różnic w stopniu usieciowania warstw (np. poligraficzne warstwy utrwalone lampą LED są mocniej usieciowane w górnej a mniej w dolnej części) i różnic w ich szorstkości (warstwy utrwalane LED mają bardziej szorstkie powierzchnie).

Warto w tym miejscu wspomnieć, że cytowane badania zostały wykonane z użyciem lampy LED emitującej 395 nm, która jest obecnie najczęściej stosowana w poligraficznych zakładach wykorzystujących systemy LED. Tak więc lepsze i efektywniejsze sieciowanie warstw lakieru przez klasyczne lampy UV prawdopodobnie wynika z obecności w ich widmie krótszych, wysokoenergetycznych fal, które skuteczniej indukuje tworzenie rodników z TPO-L niż długość fali 395 nm pochodzącą z lamp LED. Z badań wynika, że w celu otrzymania pożądanych właściwości fizykochemicznych warstwy lakieru zawierającej w swojej kompozycji TPO-L i utrwalonej za pomocą lampy LED emitującej 395 nm, należy zastosować silniejszą dawkę energii UV, w porównaniu do tej emitowanej przy zastosowaniu klasycznych systemów UV. Przedstawione wyniki potwierdzają także konieczność zintensyfikowania badań naukowych prowadzących do opracowania nowych fotoinicjatorów przeznaczonych do utrwalania przy pomocy systemów UV LED.