PRACE NAUKOWO-TECHNICZNE

MARIAN WARACHIM
Instytut Przemysłu Tworzyw i Farb
Gliwice

Badania procesu filtracji pigmentowych wyrobów lakierowych za pomocą wybranych urządzeń i przegród filtracyjnych

CZ. I. FILTRY ŚWIECOWE I SZCZELINOWE

W przemyśle farb i lakierów filtracja pigmentowanych wyrobów lakierowych jest jednym z procesów końcowych, zatem odpowiedzialnym za jakość wyrobu.

Konieczność poprawy czystości niektórych specjalnych grup wyrobów przy jednoczesnej dążności do powiększenia wydajności filtracji i hermetyzacji operacji oczyszczania wyrobów lakierowych, przemawia za wprowadzeniem nowocześniejszych rozwiązań. W ciągu ostatnich lat odnotowuje się znaczny postęp techniczny w opracowaniach nowych typów urządzeń filtracyjnych, dostosowanych do poszczególnych celów.

Kryteria wyboru aparatury filtracyjnej

Prawidłowy wybór urządzeń do filtracji wyrobów pigmentowanych ma istotny wpływ na jej przebieg i ekonomikę. Wybór ten powinien polegać na eliminacji poszczególnych typów urządzeń tak pod względem technicznym, jak i ekonomicznym.

Kryteriami doboru urządzenia filtracyjnego do określonej grupy wyrobów lakierowych powinny być przede wszystkim stawiane im wymagania oraz znajomość własności filtrowanego materiału, tj. zawartości fazy stałej, średnicy i struktury ziaren, lepkości, temperatury. W wielu bowiem wypadkach dane dotyczące jednego wyrobu lakierowego nie mogą być stosowane do innego.

Fakt ten dotyczy zwłaszcza filtracji w przemyśle farb i lakierów, gdyż charakter zanieczyszczeń jest przeważnie bardzo różnorodny tak pod względem rodzaju, jak i rozrzutu cząstek oraz ich struktury.

Zanieczyszczenia w pigmentowanych wyrobach lakierowych stanowić mogą:

— pierwotne ziarna i wtórne aglomeraty pigmentów i napełniaczy, o rozmiarach przekraczających wielkości dopuszczalne dla danego wyrobu,

— wtrącenia mechaniczne i ciała obce wprowadzone z pigmentami i substancją błonotwórczą,

— cząstki zestalonej powłoki lakierowej, kożuchy, żele substancji błonotwórczej itp.

Równolegle z wyborem urządzenia filtracyjnego należy dokonać doboru przegrody filtracyjnej, dbając o uzyskiwanie z jednostki powierzchni w jednostce czasu możliwie największej wydajności i największej czystości filtratu [1].

Przez dobór przegrody filtracyjnej rozumiemy określenie tzw. „gęstości" przegrody wyrażonej w μm oraz podanie materiału przegrody odpornego na działanie destrukcyjne czynnika filtrowanego [2]. Podjęcie decyzji o wyborze typu przegrody ułatwia znajomość stopnia zdyspergowania pigmentów i napełniaczy w wyrobie poddawanym filtracji. Ponieważ jednak nie istnieje ścisła zależność pomiędzy mikronowym oznaczeniem danej przegrody filtracyjnej, a mikronową wielkością roztarcia, nie jest również możliwe dobranie optymalnego typu przegrody filtracyjnej na drodze teoretycznej [3].

Teoria filtracji [1] poza wyjaśnieniem mechanizmu procesu filtracji nie daje odpowiedzi na wiele pytań istotnych dla praktyki przemysłowej. Dotyczy to zwłaszcza filtracji lakierowych wyrobów pigmentowanych, polegającej na przepuszczeniu przez przegrodę filtracyjną fazy stałej, stanowiącej integralną część wyrobu (pigment), a jednoczesnym zatrzymaniu zanieczyszczeń.

Z tego względu ostateczny wybór typu urządzenia należy oprzeć na próbach i doświadczeniach. One bowiem tylko stwarzają podstawę do ustalenia warunków technologicznych procesu filtracji w skali i warunkach przemysłowych.

Wprowadzenie nowych technik filtracji lakierowych wyrobów pigmentowanych na potrzeby przemysłu farb i lakierów związane było z koniecznością przeprowadzenia badań technicznych obejmujących następujące urządzenia importowane:

1) filtr świecowy z wkładami AMF Cuno i Johns-Manville (USA),

2) filtr szczelinowy AMF Cuno (USA).

Filtr świecowy z wkładami AMF Cuno i Johns-Manville

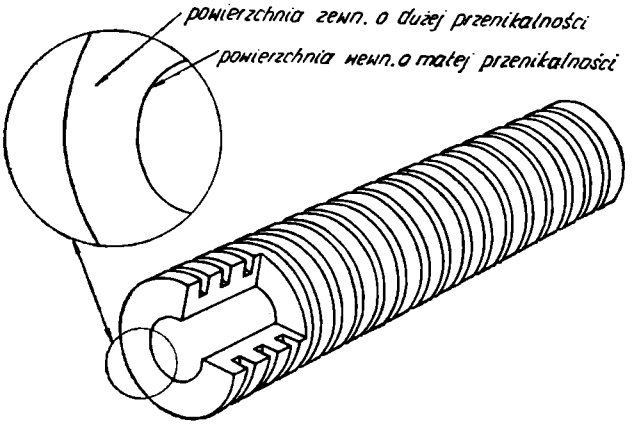
Świece filtracyjne stanowią pewnego rodzaju nowość na polu filtracji wyrobów lakierowych.

Najistotniejszą cechę tych wkładów stanowi ich szczególna struktura, polegająca na stopniowym zagęszczaniu promieniowym włókien do środka. Tak stopniowana „gęstość" zapewnia większą skuteczność filtracji i dłuższą żywotność świecy. Występuje tu tzw. filtracja wgłębna. Tę cenną zaletę posiadają jedynie filtry świecowe.

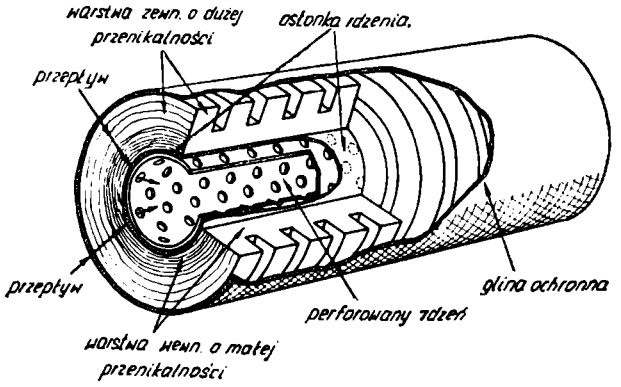
Firmy AMC Cuno i Johns-Manville produkują świece długości standardowej (l = 250 mm) lub n-krotnie dłuższe. Zaletą omawianych świec jest duża zewnętrzna powierzchnia filtracji, dzięki pierścieniowym wcięciom na pobocznicy świecy.

Świece filtracyjne AMF Cuno (rys. 1) są produkowane w typoszeregu o zdefiniowanej „gęstości": 5-10-25-50-75-125 μm. Dopuszczalne ciśnienie przy filtracji wyrobów pigmentowanych wynosi ok. $5{,}0 \cdot 10^5$ Pa, maksymalna temperatura — ok. 100°C [3].

Świece filtracyjne Johns-Manville (rys. 2) są produkowane w typoszeregu o „gęstościach": 2-5-10-15-25-50-100 μm, maksymalne ciśnienie robocze — do ok. $10{,}0 \cdot 10^5$ Pa, maksymalna temperatura pracy wynosi 150°C [3].



Rys. 1. Świeca filtracyjna AMF Cuno



Rys. 2. Świeca filtracyjna Johns-Manville

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Prace prowadzone w Instytucie [4] obejmowały testowanie świec filtracyjnych o „gęstościach" najbardziej przydatnych w przemyśle farb i lakierów, tj. od 5 do 125 μm.

Do testowania zastosowano instalację modelową [3] składającą się z pompy rotacyjnej typu zębatkowego, filtru z możliwością wymiany świecy, przewodów łączących oraz przyrządów pomiarowych.

Metodyka badań

Program badań zakładał zbadanie każdej świecy filtracyjnej w zakresie ciśnień od $0{,}5 \cdot 10^5$—$2{,}0 \cdot 10^5$ Pa, podanym jako optymalny przez obydwie firmy i uzasadnionym w poprzednich pracach [3]. Jako materiał filtracyjny zastosowano niektóre typy emalii o lepkości od 2,5 do 5 dPa·s.

Dla danej świecy, przy określonym dla niej spadku ciśnienia, wykonywano w określonych odstępach czasu pomiary objętości filtratu, pod ciśnieniem stałym w danej serii pomiarów, nastawianym zaworem redukcyjnym, umieszczonym na boczniku pompy.

Badania dotyczyły głównie oceny wydajności świec filtracyjnych, stopnia oczyszczenia filtrowanych wyrobów, kryteriów doboru typu świecy do różnych wyrobów lakierowych.

Wyniki badań i dyskusja

Wyniki badań świec Cuno i Johns-Manville, uwzględniające wpływ lepkości i ciśnienia zostały zestawione w tabelach 1 i 2.

Zależność wydajności w funkcji lepkości wyrobu filtrowanego, „gęstości" świecy, a także ciśnienia filtracji przedstawiają rys. 3, 4, 5. Krzywe dotyczące innych wartości parametrów mają taki sam kształt, różnią się jedynie przesunięciem w układzie współrzędnych.

Zakładając, że wydajność filtracji danej świecy jest funkcją dwóch zmiennych [4]

$$Q = \varphi(\Delta p, \eta) \qquad (1)$$

gdzie: Q — *wydajność filtracji, m³/h;* Δp — *spadek ciśnienia w świecy, Pa;* η — *lepkość wyrobu, dPa·s;* na podstawie analizy regresji [5, 6] opracowano uogólniony model matematyczny, stosując do tego celu minikomputer programowany Compucorp/Scientist 425G-44.

Równanie przybrało postać

$$Q = A \cdot \Delta p + B \cdot 1/\eta + C \qquad (2)$$

gdzie: *A, B, C — stałe równania charakterystyczne dla danej świecy filtracyjnej ujęte w tabelach 3 i 4.*

Uzyskany wysoki współczynnik korelacji r potwierdził istotność modelu.

Równanie (2) stanowi dogodne narzędzie szybkiego obliczenia wydajności dowolnej ze zbadanych świec, pod założonym ciśnieniem filtracji i przy znanej lepkości wyrobu. Jest ono jednak słuszne jedynie w wypadku właściwego doboru „gęstości" świecy filtracyjnej do stopnia roztarcia fazy stałej wyrobu filtrowanego [3].

Niemniej dogodną formę obliczenia wydajności filtracji określonej świecy w danych warunkach ciśnienia i lepkości stanowi nomogram. Do jego sporządzenia wykorzystano związek trzech wielkości:

$$F(Q, \Delta p, \eta) = 0 \qquad (3)$$

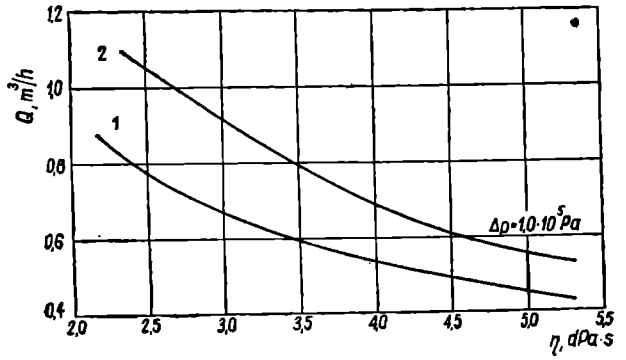
Nomogram oparto na trzech skalach funkcyjnych, prostoliniowych i równoległych. Odczytywanie wartości Q przy danych Δp i η odbywa się przez połączenie linią prostą punktów o cechach Δp i η i znalezienie cechy punktu przecięcia tej prostej ze skalą Q. Rys. 6 i 7 przedstawiają no-

Tabela 1. PARAMETRY I WYNIKI BADAŃ ŚWIEC CUNO

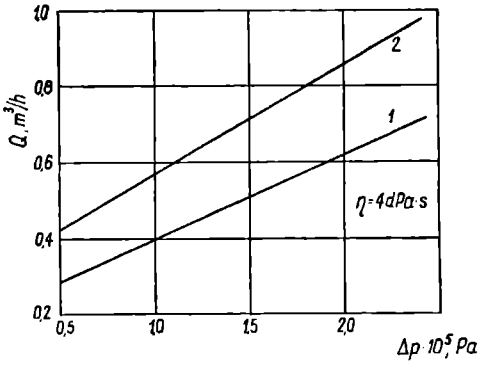
Typ świecy	„gęstość" świecy, μm	Spadek ciśnienia na świecy Δp, Pa. 10^5	Zakres lepkości η, dPa·s					
			2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
			wydajność filtracji Q, m³/h, w przeliczeniu na 1 świecę					
G 78 B3	5	0,5	0,266	0,236	0,212	0.196	0,187	0,172
		1,0	0,371	0,325	0,293	0,269	0,252	0,237
		2,0	0,584	0,504	0,454	0,416	0,389	0,367
G 78 C1	10	0,5	0,283	0,247	0,221	0,200	0,135	0,172
		1,0	0,384	0,336	0,302	0,276	0,257	0,242
		2,0	0,586	0,512	0,466	0,428	0,402	0,380
G 78 F9	25	0,5	0,341	0,288	0.255	0,223	0.199	0,183
		1,0	0,438	0,381	0,344	0,309	0,284	0,265
		2,0	0,632	0,566	0,523	0,482	0,455	0,430
G 78 L8	50	0,5	0,456	0,381	0,337	0,288	0,254	0,232
		1,0	0,580	0,502	0,453	0,402	0.366	0,339
		2,0	0,827	0,745	0,686	0,628	0,588	0,552
G 78 Q8	75	0,5	0,596	0,503	0,452	0,389	0,349	0,321
		1,0	0,789	0,681	0,613	0,545	0,492	0,455
		2,0	1,175	1,036	0,935	0,843	0,778	0,722
G 78 W5	125	0,5	0,760	0,655	0,599	0,525	0,484	0,451
		1,0	0,064	0,916	0,822	0,726	0,664	0,614
		2,0	1,673	1,438	1,269	1,129	1,024	0,939

Tabela 2. PARAMETRY I WYNIKI BADAŃ ŚWIEC JOHNS-MANVILLE

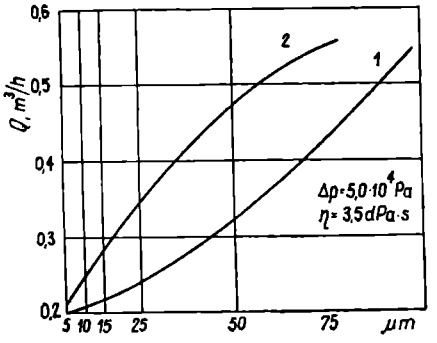
Typ świecy	„gęstość" świecy μm	Spadek ciśnienia na świecy Δp, Pa. 10^5	Zakres lepkości η, dPa · s					
			2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
			Wydajność filtracji Q, m^3/h, w przeliczeniu na 1 świecę					
C3 ER1	5	0,5	0,252	0,216	0,190	0,170	0,156	0,144
		1,0	0,345	0,293	0,256	0,228	0,206	0,189
		2,0	0,581	0,487	0,421	0.374	0 337	0,309
C3,3 ER1	10	0,5	0,341	0,289	0,252	0,224	0,202	0,185
		1,0	0,465	0.393	0,341	0,302	0,272	0,248
		2,0	0,755	0,631	0,545	0,482	0,433	0,394
C4 ET	15	0,5	0,406	0,342	0,297	0,262	0,236	0,214
		1,0	0,554	0,466	0,403	0,356	0.319	0,290
		2,0	0,879	0,735	0.664	0,559	0,500	0,454
C5 ER	25	0,5	0,507	0,424	0,365	0,321	0,286	0,258
		1,0	0,690	0,578	0.498	0,437	0,390	0,353
		2,0	1,070	0,891	0.766	0,673	0,601	0,543
C6 ET	50	0,5	0,686	0,568	0,484	0,421	0,371	0,332
		1,0	0,930	0,775	0,663	0,579	0,514	0,461
		2,0	1,390	1,160	0,991	0,868	0,771	0,694
C7 ET	75	0,5	0,819	0,674	0,571	0.493	0,432	0,384
		1,0	1,110	0,919	0,784	0,683	0,604	0,539
		2,0	1,615	1,350	1,150	1.010	0,891	0,800



Rys. 3. Wydajność filtracji w funkcji lepkości, w przeliczeniu na świecę
1 — świeca Cuno G78 Q8 (75 μm), 2 — świeca Johns-Manville C7 ET (75 μm)



Rys. 5. Wydajność filtracji w funkcji ciśnienia, w przeliczeniu na 1 świecę
1 — świeca Cuno G78 Q8 (75 μm), 2 — świeca Johns-Manville C7 ET (75 μm)



Rys. 4. Wydajność filtracji w funkcji „gęstości" świecy, w przeliczeniu na 1 świecę
1 — Cuno, 2 — Johns-Manville

Tabela 3. STAŁE MODELU MATEMATYCZNEGO ŚWIEC CUNO.

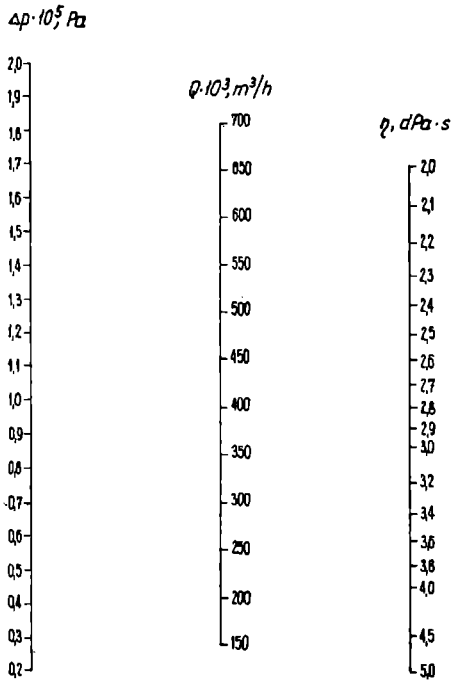
Typ świecy	„gęstość" świecy μm	$Q = A \cdot \Delta p + B \cdot \frac{1}{\eta} + C$			Współczynnik korelacji r
		$A \cdot 10^{-8}$	$B \cdot 10^{-3}$	$C \cdot 10^{-3}$	
G 78 B3	5	161	738	— 78	0,9882
G 78 C1	10	168	767	— 83	0,9904
G 78 F9	25	178	889	— 91	0,9988
G 78 L8	50	231	1240	—139	0,9988
G 78 Q8	75	320	1770	—224	0,9939
G 78 W5	125	444	2490	—346	0,9831

mogramy przykładowe wybranych świec o „gęstości" 25 μm obu firm.

Omawiane świece charakteryzują się dużą skutecznością oczyszczania [3, 4] wyrobów filtrowanych, przy czym świe-

Tabela 4. STAŁE MODELU MATEMATYCZNEGO ŚWIEC JOHNS-MANVILLE

Typ świecy	„gęstość" świecy, r,m	$Q = A \cdot \Delta p + B \cdot \frac{1}{\mu} + C$			Współczynnik korelacji r
		$A \cdot 10^{-8}$	$B \cdot 10^{-3}$	$C \cdot 10^{-3}$	
C3 ER1	5	155	894	—147	0,9784
C3,5 ER1	10	195	1223	—198	0,9806
C4 ET	15	227	1469	—238	0,9812
C5 ER	25	265	1854	—296	0,9825
C6 ET	50	333	2583	—400	0 9841
C7 ET	75	380	3 35	—475	0,9853



Rys. 6. Nomogram do wyznaczania wydajności świecy Cuno o „gęstości" 25 μm

ce Cuno w porównaniu ze swymi analogami firmy Johns-Manville wykazują lepszą selektywność oczyszczania.

Wyniki badań świec obu firm pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

1. Świece filtracyjne Cuno i John-Manville mogą być stosowane do filtracji pigmentowanych wyrobów lakierowych o dużych wymaganiach w zakresie czystości (np. wyroby dla przemysłu motoryzacyjnego, meblowego, elektrotechnicznego i inne). Omawiane świece reprezentują tę samą klasę pod względem technicznym i ekonomicznym.

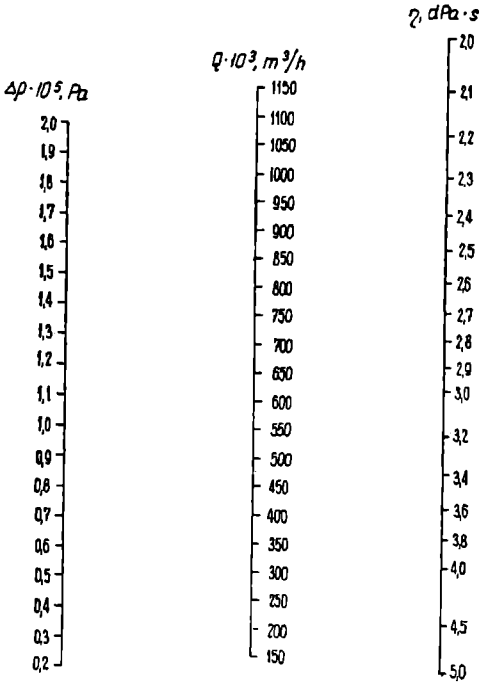
2. W zakresie „gęstości" świec od 5 do 125 μm wydajność jest odwrotnie proporcjonalna do lepkości filtrowanego wyrobu i została ujęta w formie modelu matematycznego.

3. Przedstawiona metoda określania wydajności filtracji na podstawie modelu matematycznego procesu lub nomogramu jest szybka i wystarczająco dokładna do celów technologicznych.

4. Wyniki badań mogą być praktycznie wykorzystane przez zakłady farb i lakierów oraz jednostki projektujące nowe instalacje przemysłowe.

Filtr szczelinowy AMF Cuno

Dzięki specjalnej konstrukcji filtry szczelinowe można regenerować podczas pracy bez demontażu. Przy stosunkowo niewielkich wymiarach charakteryzują się dużą wydajnością. Stabilna konstrukcja metalowa wkładu filtracyjnego (kosz filtracyjny) pozwala na filtrację pod podwyższonym ciśnieniem. Filtry szczelinowe produkuje się ze stali zwykłej lub kwasoodpornej.



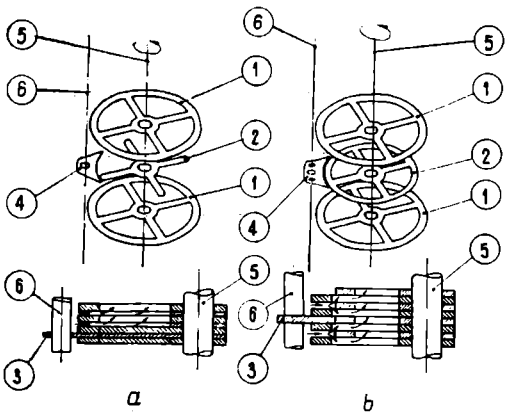
Rys. 7. Nomogram do wyznaczania wydajności świecy Johns-Manville o „gęstości" 25 μm.

W zależności od konstrukcji kosza filtracyjnego, urządzenia te są produkowane w dwóch wersjach:

1. filtry szczelinowe Turno-Klean
2. filtry szczelinowe Super Turno-Klean.

Pierwsze z nich mają prześwity: 90-125-200-300-375-500-750-1200-1500 μm, drugie zaś: 35-50-75-125-200 μm. W zależności od typu urządzenia oba rodzaje filtrów mogą być wyposażone w większą liczbę koszy filtracyjnych, zapewniających większą powierzchnię filtracyjną i w konsekwencji większą wydajność filtracji.

Najbardziej charakterystyczną cechą omawianych filtrów [4] jest budowa kosza filtracyjnego, stanowiącego zespół na przemian ułożonych kołowych tarcz filtracyjnych i krzyżowych elementów dystansowych. Rys. 8 przedstawia fragment takiego zespołu. Oś grzebienia oczyszczającego jest równoległa do osi obrotu filtra, przy czym skrobaki grzebienia wchodzą pomiędzy poszczególne tarcze filtracyjne. Grubość krzyża i skrobaka w wersji T-K określa nominalny „próg filtracji". W wypadku zaś wersji ST-K „próg" ten



Rys. 8. Zasada działania filtrów szczelinowych a) wersja Turno-Klean, b) wersja Super Turno-Klean. 1 — tarcza filtracyjna, 2 — element dystansowy, 3 — grzebień oczyszczający, 4 — skrobak, 5 — oś obrotu, 6 — oś grzebienia oczyszczającego

określa różnica między promieniem wewnętrznym tarczy filtracyjnej a promieniem zewnętrznym pierścienia dystansowego.

W filtrach szczelinowych istnieje możliwość ręcznej lub automatycznej regeneracji kosza filtracyjnego. Ciągłą automatyczną regenerację umożliwia zespół motoredukcyjny zaadaptowany do każdego filtra.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Przedmiotem badań był filtr szczelinowy Super Turno-Klean, typ EGS-35. „Próg filtracji" filtra wynosił 35 μm, był zatem najniższy z typoszeregu tych urządzeń.

Ze względu na dużą wydajność filtracji badania prowadzone były w skali przemysłowej (Cieszyńska Fabryka Farb i Lakierów). Instalacja [4] składała się ze zbiornika zasilającego, agregatu pompowego, przewodów łączących i zasilających, filtra, odbieralnika i aparatury kontrolno-pomiarowej.

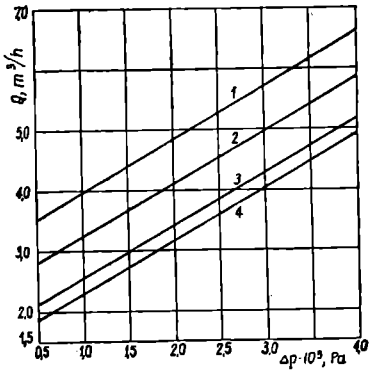
Metodyka badań

Omawiany filtr został zbadany w zakresie optymalnych ciśnień podanych przez producenta, do filtracji lakierów pigmentowanych. Ustalono trzy wartości ciśnienia początkowego: $0{,}1\cdot10^5$—$1{,}0\cdot10^5$—$2{,}0\cdot10^5$ Pa. Do filtracji zastowano dwa rodzaje wyrobów lakierowych typu emalii karbamidowych [4].

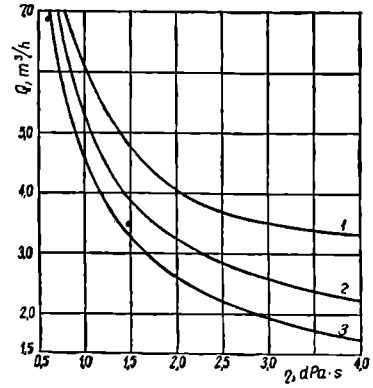
Badania polegały na pomiarze czasu potrzebnego do przefiltrowania określonej masy wyrobu, przy jednoczesnej kontroli ciśnienia filtracji i temperatury filtratu. W miarę przyrostu sumarycznej objętości filtratu obserwowano powolny wzrost cieśnienia i stopniowy spadek wydajności, wskutek stopniowego blokowania szczelin kosza filtracyjnego zanieczyszczeniami. Gdy wydajność filtra zmalała do poziomu ekonomicznie niewystarczającego, filtr poddawano oczyszczeniu. Po oczyszczeniu ciśnienie obniżało się do wartości początkowej przy równoczesnym wzroście wydajności.

Wyniki badań i dyskusja

Wpływ ciśnienia początkowego na wydajność filtracji przedstawia rys. 9. Zależność jest liniowa, a położenie poszczególnych linii na wykresie zależy od lepkości wyrobu poddawanego filtracji.



Rys. 9. Wydajność początkowa filtracji w funkcji ciśnienia dla różnych lepkości dPa·s
1 — $\eta = 1{,}54$; 2 — $\eta = 2{,}20$; 3 — $\eta = 3{,}25$; 4 — $\eta = 4{,}40$



Rys. 10. Wydajność początkowa filtracji w funkcji lepkości pod różnym ciśnieniem ($\cdot10^5$ Pa)
1 — $\Delta p = 2{,}0$; 2 — $\Delta p = 1{,}0$; 3 — $\Delta p = 0{,}35$

Na podstawie tej charakterystyki (rys. 9) sporządzono na drodze transformacji wykres zależności wydajności początkowej od lepkości (rys. 10). Otrzymano rodzinę krzywych odpowiadającą różnym ciśnieniom filtracji. Punkty pomiarowe odpowiadające ciśnieniu początkowemu filtracji $\Delta p = 3{,}5\cdot10^4$ Pa podane przez firmę Cuno korespondują z krzywą uzyskaną na drodze doświadczalnej.

Ponieważ wydajność filtracji jest funkcją dwóch zmiennych

$$Q = \varphi(\Delta p, \eta) \tag{4}$$

wprowadzono, podobnie jak w wypadku świec filtracyjnych uogólnione równanie empiryczne na podstawie analizy regresji [5, 6] z zastosowaniem minikomputera programowanego Compucorp/Scientist 425G-44

$$Q = 869\cdot10^{-8}\cdot\Delta p + 409\cdot10^{-2}\,1/\eta + 448\cdot10^{-8} \tag{5}$$

gdzie: *Q — wydajność filtracji, m³/h, Δp — początkowy spadek ciśnienia, Pa; η — lepkość wyrobu, dPa·s.*

Równanie jest słuszne w zakresie parametrów

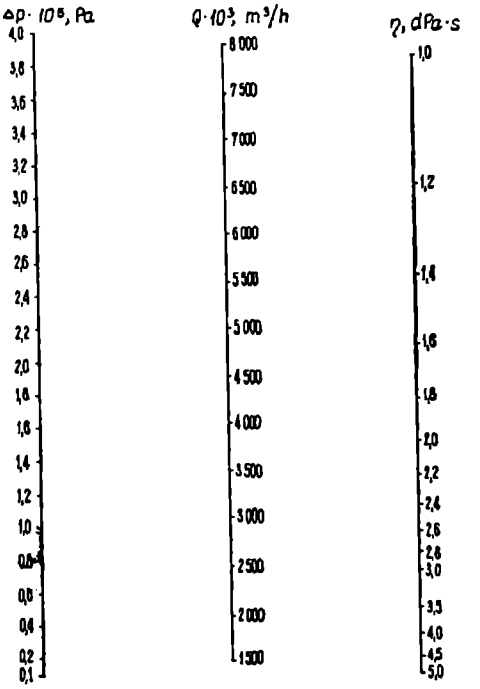
$$0{,}1\cdot10^5 \leqslant \Delta p \leqslant 3\cdot10^5 \text{ Pa} \quad \text{i} \quad 1 \leqslant \eta \leqslant 5 \text{ dPa·s}$$

Wysoki i istotny współczynnik korelacji $r = 9997$ potwierdził słuszność wyprowadzonej zależności parametrów procesu i przydatność równania do celów praktycznych. Należy tu podkreślić, że ogólna postać równania (5) jest słuszna dla wszystkich filtrów szczelinowych, natomiast wartości liczbowe współczynników przedstawionego modelu empirycznego dotyczą wyłącznie badanego filtra EGS-35.

Podobnie jak w wypadku świec filtracyjnych wykreślono nomogram (rys. 11) wykorzystując związek trzech wielkości:

$$F(Q, \Delta p, \eta) = 0 \tag{6}$$

Odczytywania poszukiwanej wartości Q przy danych Δp i η dokonuje się przez połączenie linią prostą punktów o cechach Δp i η i znalezienie cechy punktu przecięcia tej prostej ze skalą Q.



Rys. 11. Nomogram do wyznaczania wydajności filtra szczelinowego Super Turno-Klean EGS-35

Wyniki badań prowadzą do następujących wniosków.

1. Uzyskiwanie maksymalnych wydajności filtrów z periodycznym oczyszczaniem wymaga częstej regeneracji kosza filtracyjnego, co wiąże się z koniecznością stałej obsługi aparatu. Stosowanie filtrów wyposażonych w motoreduktor eliminuje tę niedogodność.

W wypadku omawianego filtra wskazane jest stosowanie filtracji wstępnej, np. przez sita wibracyjne.

2. Filtry szczelinowe można stosować do filtracji wstępnej lub do filtracji pigmentowanych wyrobów lakierowych o umiarkowanych wymaganiach w zakresie czystości.

3. Na podstawie równania (5) oraz nomogramu rys. 11 można wyznaczać wydajność filtra EGS-35 w zależności od lepkości wyrobu i początkowego ciśnienia filtracji.

4. Wydajność filtracji filtra EGS-35 jest wprost proporcjonalna do początkowego ciśnienia filtracji i odwrotnie proporcjonalna do lepkości wyrobu filtrowanego.

LITERATURA

1. Akers R. J., Ward A. S.: „Filtration. Principles and Practices. Liquid Filtration Theory and Filtration Pretreatment". Clyde Orr, London 1977.
2. Rushton A., Griffiths P. V. R.: „Filtration. Principles and Practices. Filter Media". Clyde Orr, London 1977.
3. Warachim M., Weiner H.: „Filtracja wyrobów pigmentowanych. Cz. I i II" Sprawozdanie IPTiF, Gliwice (1975—1976).
4. Warachim M., Weiner H.: „Nowe metody filtracji wyrobów pigmentowanych". Sprawozdanie IPTiF Gliwice (1976).
5. Volk W.: „Statystyka stosowana dla inżynierów". WNT, Warszawa 1968.
6. Czermiński J. B.: „Metody statystyczne w doświadczalnictwie chemicznym". PWN, Warszawa 1974.

Otrzymano 8 X 1979 r.