

SKRYPTY DLA SZKÓŁ WYŻSZYCH

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

ANDRZEJ JEZIORNY, BARBARA LIPP-SYMONOWICZ

NAUKA O WŁÓKNIE

LABORATORIUM

ŁÓDŹ 1980

NAKŁADEM POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



Skrypt jest przeznaczony dla studentów
Wydziału Włókienniczego PŁ studiów
dziennych, wieczorowych i zaocznych



965 - W

Recenzent: prof. dr habil. Grzegorz Urbańczyk

Redaktor: Monika Marciniak

Redaktor techniczny: Ewa T. Guzek

REDAKCJA WYDAWNICTW NAUKOWYCH POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
93-005 Łódź, ul. Wólczańska 219

Nakład 800+66 egz. Ark. wyd. 4,7. Ark. druk. 5 4/16. Papier offset, kl. V, 70 g, 70X100.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 15 I 1979 r. Przekazano do składu 9 X 1979 r.

Podpisano do druku 17 I 1980 r. Druk ukończono w lutym 1980 r.

Zamówienie 244/79. P-6. Cena zł 10,-

Wykonano w Zakładzie Poligraficznym PŁ, 93-005 Łódź, ul. Wólczańska 219



1. WSTĘP

Skrypt niniejszy jest przeznaczony dla studentów Wydziału Włókienniczego - studiów dziennych, wieczorowych i zaocznych - którzy wykonują ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu Nauka o włóknie. Ćwiczenia prowadzone są w Instytucie Fizyki Włókna i Chemicznej Obróbki Włókna PŁ.

W zamierzeniu autorów, zakres tematyczny skryptu powinien umożliwić spełnienie dwóch podstawowych celów.

Po pierwsze - zapewnić sprawne wykonywanie ćwiczeń mikroskopowych, dzięki szerokiemu zespołowi informacji dotyczących bezpośrednio wykonywanych zadań oraz zjawisk występujących w czasie obserwacji mikroskopowych.

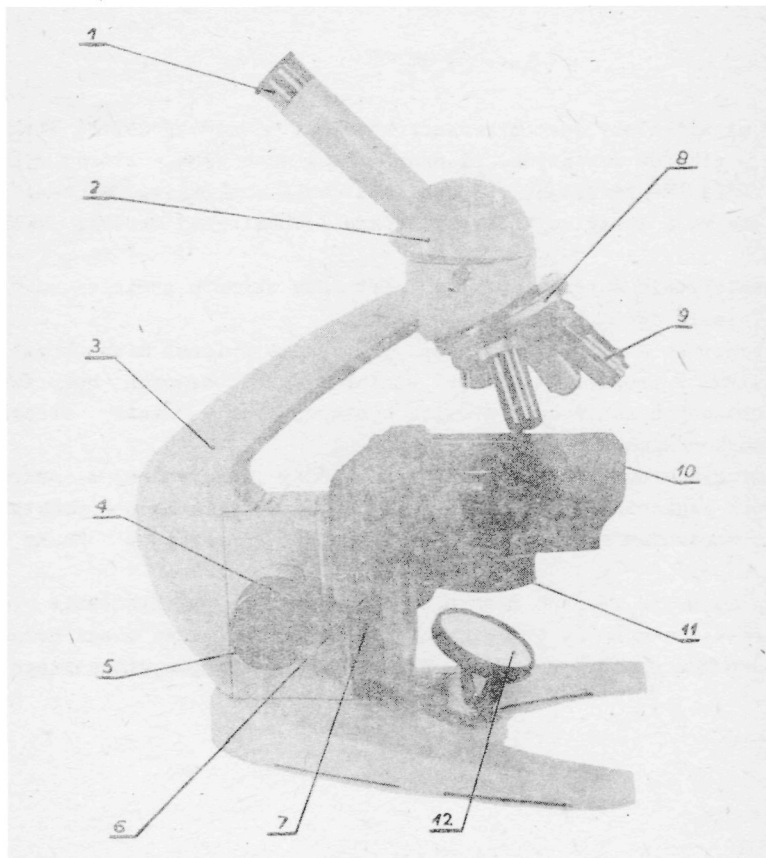
Po drugie - umożliwić ugruntowanie wiedzy teoretycznej z zakresu niektórych zagadnień szczególnie ważnych dla włókienników - praktyków, które to zagadnienia stanowią treść wykładów z przedmiotu Nauka o włóknie".

Autorzy w tym miejscu pragną złożyć serdeczne podziękowanie Panu Profesorowi Grzegorzowi Urbańczykowi za cenne krytyczne uwagi dotyczące zarówno koncepcji jak i formy końcowego opracowania niniejszego skryptu.



2. PODSTAWY MIKROSKOPII WŁÓKIEN

Spośród wielu różnych typów mikroskopów, we włókiennictwie używa się najczęściej mikroskopu optycznego zwanego biologicznym. Służy on przede wszystkim do obserwacji przedmiotów w świetle przechodzącym,

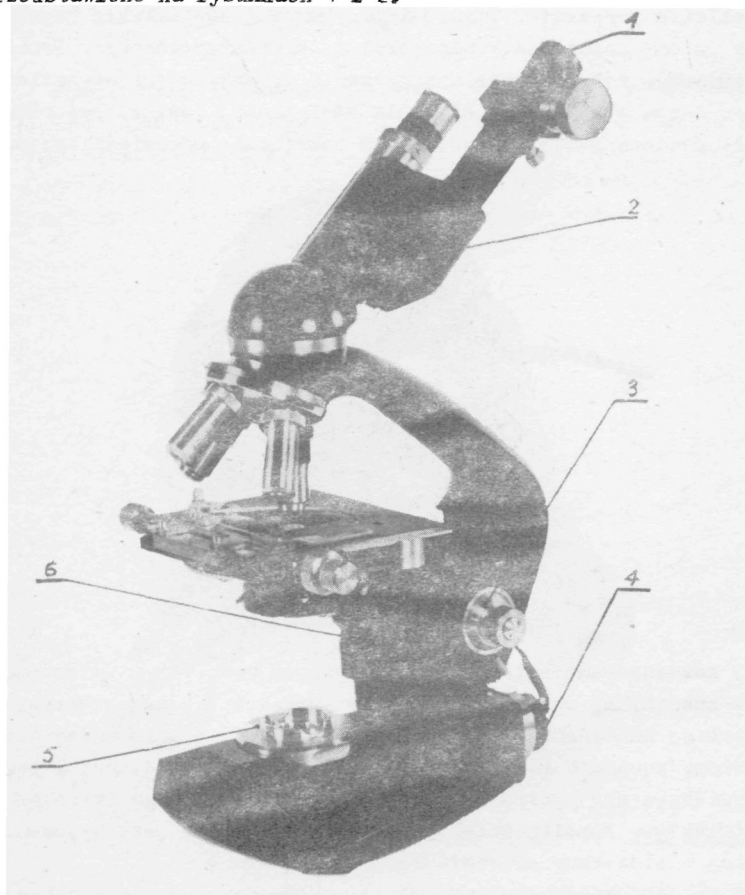


Rys. 1. Mikroskop biologiczny MS 5

1 - okular, 2 - nasadka jednooczna, 3 - statyw, 4 - pokrętło przesuwu zgrubnego, 5 - pokrętło przesuwu drobnego, 6 - pokrętło przesuwu wzdłużnego stolika, 7 - pokrętło przesuwu poprzecznego stolika, 8 - zmieniając obiektywów, 9 - obiektyw, 10 - stolik mikroskopu, 11 - kondensor, 12 - lusterko



w warunkach oświetlenia preparatu od dołu. Światło, którego źródłem jest najczęściej lampa mikroskopowa, kierowane jest przez lustro bezpośrednio na obserwowany preparat. Niekiedy do oświetlenia preparatu używa się nie lampy mikroskopowej, lecz tzw. oświetlacza, którego głównym elementem jest żarówka w odpowiedniej oprawie wbudowanej w podstawę mikroskopu. W takim przypadku budowa mikroskopu różni się nieco od budowy mikroskopu z lusterkiem. Szczegółowe różnice konstrukcyjne przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 2. Mikroskop biologiczny MB 30

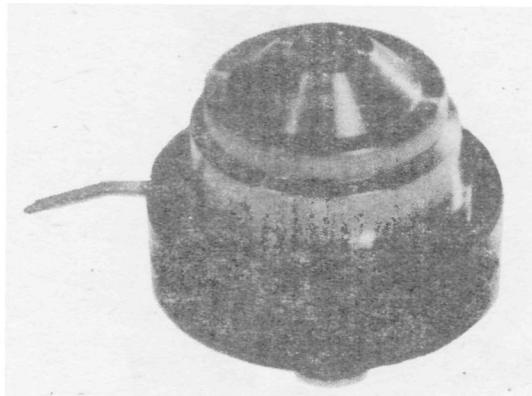
1 - okular mikrometryczny, 2 - nasadka dwuoczną,
3 - pokrętła przesuwu zgrubnego i drobnego, 4 -
oprawa żarówki oświetlacza, 5 - oprawa lustro
oświetlacza, 6 - pokrętło przesuwu kondensora



2.1. Budowa mikroskopu biologicznego

Najważniejszymi jednostkami budowy mikroskopu są zespoły, w skład których wchodzi elementy optyczne. Zespołami takimi są, wymienione w kolejności przechodzenia przez nie światła: kondensor, obiektyw okular.

Kondensor (rys. 3) jest to zespół soczewek związanych wspólną oprawką, który przede wszystkim zapewnia odpowiednią intensywność oświetlenia preparatu. Zmianę intensywności oświetlenia uzyskuje się przez zmianę położenia kondensora w kierunku pionowym. Przesuwanie kondensora w dół powoduje zmniejszanie intensywności oświetlenia, przy jednoczesnym zwiększaniu się pola oświetlanej powierzchni. Przemieszczanie kondensora osiąga się przez pokręcenie odpowiedniego pokrętła.



Rys. 3. Kondensor

Z kondensorem jest związana przysłona tęczówkowa, umieszczona pod nim w specjalnej oprawce. Przysłona ogranicza wiązkę promieni wchodzących do kondensora: zmniejszenie wielkości otworu wejściowego przysłony powoduje zmniejszenie intensywności oświetlenia, jednocześnie zwiększa się kontrastowość obrazu mikroskopowego (vide p. 2.3).

Obiektyw. Komplet obiektywów, w które zwykle jest wyposażony mikroskop biologiczny przedstawiono na rysunku 4.

Z reguły, każdy z obiektywów ma charakterystyczne cechy optyczne. Specyfikę danego obiektywu określa powiększenie obiektywu i jego apertura numeryczna*.

* Wartość powiększenia i apertury zaznaczona jest na oprawie obiektywu.



Wartość powiększenia obiektywu - p_{OB} określa zależność

$$p_{OB} = \frac{l}{f_{OB}}, \quad (1)$$

gdzie l - optyczna długość tubusa (odległość między bliższymi sobie ogniskami obiektywu i okularu),

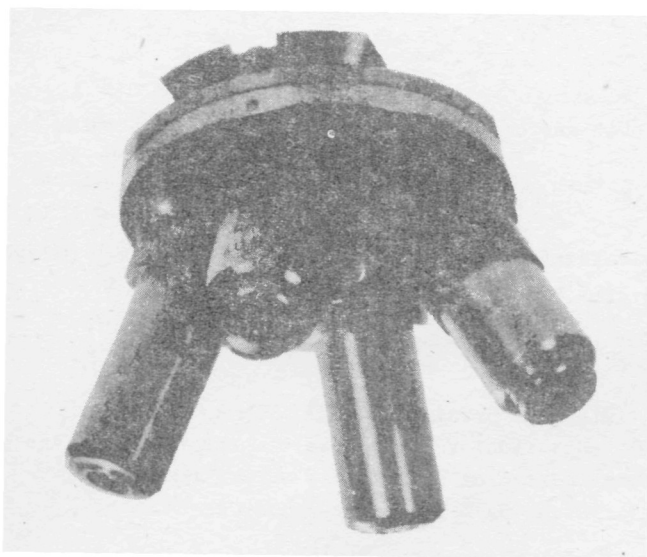
f_{OB} - ogniskowa obiektywu.

Aperturę numeryczną obiektywu - A_0 - wyraża wzór

$$A_0 = n \sin \alpha, \quad (2)$$

gdzie n - współczynnik załamania światła w przestrzeni przedmiotowej obiektywu (ośrodka między szkiełkiem nakrywkowym, a soczewką czołową obiektywu),

α - kąt aperturowy; kąt między skrajnym promieniem wychodzącym z punktu położonego na osi obiektywu, a osią.



Rys. 4. Komplet obiektywów

Okular. Najczęściej układ dwóch soczewek płasko wypukłych, spełniający rolę lupy, przez którą obserwuje się obraz utworzony przez

obiektyw. Podstawową wielkością charakteryzującą okular jest powiększenie. Wartość powiększenia (zaznaczona na oprawce okularu) określa zależność:

$$p_{OK} = \frac{d}{f_{OK}} \approx \frac{250}{f_{OK}}, \quad (3)$$

gdzie f_{OK} - ogniskowa okularu [mm],
 $d = 250$ mm - odległość dobrego widzenia.

2.2. Powiększenie mikroskopu

Najogólniej powiększenie mikroskopu jest określone przez stosunek kąta β_1 - pod którym widoczny jest przedmiot przez mikroskop - do kąta β , pod którym można obserwować ten sam przedmiot okiem nieuzbrojonym z najbliższej odległości:

$$p = \frac{\beta_1}{\beta}. \quad (4)$$

Ponieważ wartości wymienionych kątów są małe można napisać, że

$$p \approx \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (5)$$

Przy założeniu, że dla normalnego oka ludzkiego odległość dobrego widzenia jest równa $d = 250$ mm, mianownik wzoru (5) będzie wynosił

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{250}, \quad (6)$$

gdzie a - wielkość przedmiotu (rys. 5).

W celu odpowiedniego wyrażenia wielkości $\operatorname{tg} \beta_1$ można posłużyć się uproszczonym schematem powstawania obrazu mikroskopowego - przedstawionym na rysunku 5. Ze schematu widać, że

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{a_1}{f_{OK}}, \quad (7)$$

gdzie a_1 - wielkość obrazu pierwotnego przedmiotu (obraz uzyskany za pomocą obiektywu),

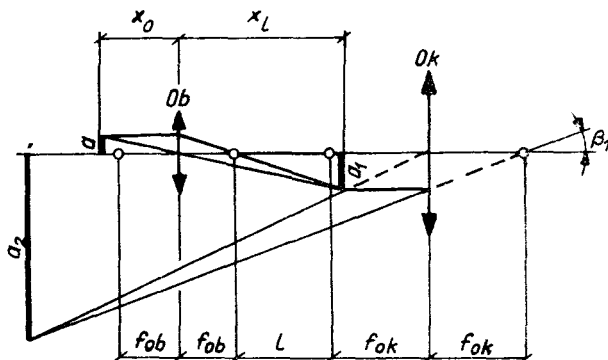
f_{OK} - ogniskowa okularu.



Z warunku odobieżności odpowiednich trójkątów można wyznaczyć stosunek

$$\frac{a_1}{a} = \frac{x_1}{x_0}, \quad (8)$$

gdzie x_1 i x_0 - odległości od obiektywu, odpowiednio: obrazu pierwotnego i przedmiotu.



Rys. 5. Uproszczony schemat powstawania obrazu mikroskopowego (objaśnienia w tekście)

Uwzględniając, że $x_1 \approx l$ (długość tubusa), $x_0 \approx f_{OB}$ (ogniskowa obiektywu) otrzymuje się po przekształceniu

$$a_1 = a \frac{l}{f_{OB}}. \quad (9)$$

Tak więc, wzór (7) przyjmie postać następującą:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{a \cdot l}{f_{OB} \cdot f_{OK}}. \quad (10)$$

Po podstawieniu (10) i (6) do (5), otrzymuje się

$$p = \frac{250 \cdot l}{f_{OB} \cdot f_{OK}}. \quad (11)$$

Ostatecznie powiększenie nominalne mikroskopu po uwzględnieniu zależności określających powiększenie obiektywu i powiększenie okularu, będzie wyrażone jako

$$p = p_{OB} \cdot p_{OK}.$$

(12)



Jak wynika z wzoru (12) powiększenie nominalne mikroskopu jest iloczynem powiększenia obiektywu i powiększenia okularu. Stąd wniosek, że zestawiając obiektywy i okulary o odpowiednio dużej wartości powiększenia można osiągnąć dowolnie duże powiększenie mikroskopu*. Jednak stosowanie do obserwacji mikroskopowych dowolnych bardzo dużych powiększeń jest błędne z punktu widzenia praktycznego. Zastosowanie zbyt dużego powiększenia nie tylko nie daje nowych informacji o szczegółach obserwowanego przedmiotu lecz przeciwnie, stwarza warunki, które przeszkadzają w analizie obrazu mikroskopowego. Obraz uzyskany przy takim nieodpowiednim powiększeniu jest mało wyrazisty wskutek małej kontrastowości. Taki stan rzeczy wynika z faktu występowania w rzeczywistych warunkach obserwacji odstępstw od teoretycznych zasad optyki geometrycznej. W rzeczywistości promienie świetlne nie przecinają się w jednym punkcie, lecz w obszarze sferycznej przestrzeni o określonej wielkości. Przy zbyt dużym powiększeniu następuje nadmierne powiększenie tej przestrzeni, co powoduje w efekcie zamazanie obrazu.

Ze względu na czytelność obrazu, powiększenie mikroskopu nie może być więc zbyt duże. Inaczej mówiąc, kąt pod którym jest oglądany obserwowany przedmiot nie powinien być zbyt duży. Jednocześnie jednak, kąt ten nie powinien być zbyt mały, z uwagi na fizjologiczne własności oka ludzkiego. Bowiem oko nie jest w stanie rozpoznać dwóch punktów, jeżeli są one widoczne pod kątem mniejszym niż $1,5'$. W związku z tym konieczne jest takie dobranie specyficznych cech jakościowych mikroskopu, aby uwzględniona została ograniczona zdolność rozpoznawcza oka ludzkiego.

Podstawową wielkością charakteryzującą jakość mikroskopu jest tzw. zdolność rozdzielcza, określona długością odcinka $b_{r \min}$ (wzór 16 i 18). Wielkość ta uznawana jest za tę charakterystyczną wielkość, do której odnosić się powinien warunek ograniczający zakres wartości kąta β_1 . Zwykle przyjmuje się, uwzględniając sformułowane wyżej ograniczenia, że kąt pod którym widoczny ma być odcinek $b_{r \min}$ powinien zawierać się w granicach $2' - 4'$. Powiększenie mikroskopu spełniające ten warunek jest nazywane powiększeniem użytecznym - p_u .

Powiększenie użyteczne mikroskopu zawiera się więc w przedziale

$$\beta_1' : \beta < p_u < \beta_1'' : \beta, \quad (13)$$

* Maksymalnie około 5000 razy, uwzględniając parametry wykonywanych współcześnie obiektywów (p_{OB} - do 130 razy) i okularów (p_{OK} - do 40 razy).



gdzie $\beta \approx \frac{b_{r \min}}{250}$,

$$\beta'_1 = 2 \cdot 0,00029 \text{ rad},$$

$$\beta''_2 = 4 \cdot 0,00029 \text{ rad}.$$

Uwzględniając wzór (18) opisujący zdolność rozdzielczą mikroskopu, warunki graniczne stosowanego powiększenia będzie określać następujące wyrażenie:

$$2 \cdot \frac{0,00029}{0,65 \cdot \lambda} \cdot A_0 \cdot 250 < p_u < 4 \cdot \frac{0,00029}{0,65 \cdot \lambda} \cdot A_0 \cdot 250. \quad (14)$$

Przyjmując dla światła białego średnio $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$, po zaokrągleniu, z uwagi na prostotę zapisu i umowność granic kąta β_1 , określony zostaje warunek

$$500 \cdot A_0 < p_u < 1000 \cdot A_0, \quad (15)$$

który oznacza, że wartość powiększenia mikroskopu powinna być dostosowana do apertury numerycznej obiektywu.

2.3. Jakość obrazu mikroskopowego

Podstawowymi parametrami określającymi jakość obrazu mikroskopowego są: zdolność rozdzielczą mikroskopu, głębokość widzenia obiektywu, intensywność przechodzącego światła.

Zdolnością rozdzielczą nazywa się zdolność układu optycznego do wyraźnego wyodrębnienia blisko siebie położonych szczegółów obserwowanego przedmiotu. Ilościową miarą zdolności rozdzielczej jest najmniejsza odległość dwóch punktów, mierzona w płaszczyźnie przedmiotu, poniżej której punkty te nie zostaną rozróżnione. Odległość tę określa zależność

$$b_{r \min} = L(m) \frac{\lambda}{A_0}, \quad (16)$$

gdzie $L(m)$ - funkcja określająca stopień wzajemnej koherencji promieniowania wychodzącego z rozpatrywanych blisko siebie położonych punktów,

λ - długość fali światła użytego do oświetlenia preparatu mikroskopowego,

A_0 - apertura obiektywu.



Wartość funkcji $L(m)$ zależy od wartości następującego ilorazu:

$$M = \frac{A_K}{A_0}, \quad (17)$$

gdzie A_K - apertura kondensora.

Teoretycznie najwyższa zdolność rozdzielcza występuje wówczas, gdy $M \approx 1,5$. W praktyce jednak, z uwagi na odbłaski powstające na oprawkach soczewek obiektywu, nie przekracza się $M = 0,7$. Wartości tej odpowiada wartość $L(m) = 0,65$. Ostatecznie więc, zdolność rozdzielczą mikroskopu określa praktycznie zależność

$$b_r \min = \frac{0,65 \cdot \lambda}{A_0}. \quad (18)$$

Im mniejsza jest wartość $b_r \min$ tym wyższa jest jakość uzyskiwanego obrazu mikroskopowego.

Głębokość widzenia (g) jest to największa możliwa odległość dwóch punktów leżących w osi obiektywu, przy której obrazy tych punktów są wystarczająco wyraźne dla oka. Głębokość widzenia można wyznaczyć z następującego równania ogólnego:

$$g = n \left(\frac{0,5 \cdot \lambda}{A_0^2} + \frac{340}{A_0 \cdot p} \right), \quad (19)$$

gdzie λ - długość fali światła użytego do oświetlenia preparatu mikroskopowego,

A_0 - apertura obiektywu,

p - powiększenie mikroskopu.

Przy obserwacji w świetle białym w granicach powiększenia użytecznego, zróżnicowanie głębokości widzenia zawiera się w przedziale

$$\frac{n}{A_0^2} < g(\mu m) < \frac{0,6 \cdot n}{A_0^2}. \quad (20)$$

Ogólnie, przy mikroskopowych obserwacjach włókien, im większa jest głębia ostrości tym lepsza jakość uzyskanego obrazu. Większa głębia ostrości umożliwia bowiem dokładne obejrzenie całej przewidzianej do obserwowania powierzchni włókna rozmieszczonej w określonej przestrzeni.

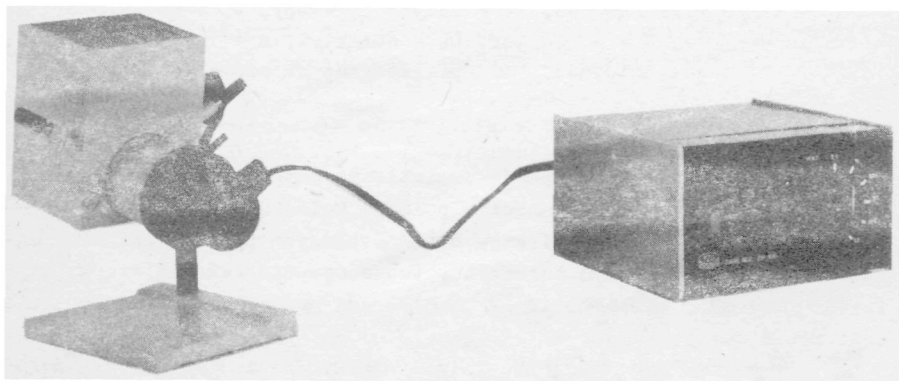
Intensywność światła przechodzącego nie powinna być zbyt duża przy bezpośrednich obserwacjach mikroskopowych. Zbyt intensywne światło nie tylko wpływa ujemnie na wzrok, lecz również przyczynia się do pogorszenia kontrastowości obrazu.



Do regulacji intensywności światła służy kondensor. Bezpośredni efekt uzyskuje się przede wszystkim w wyniku zmiany położenia kondensora, ale również i w wyniku zmiany średnicy otworu wejściowego przysłony kondensora. Zmniejszenie otworu przysłony powoduje zmniejszenie intensywności światła oraz przyczynia się do poprawienia kontrastowości obrazu. Ponadto, zmniejszenie otworu przysłony pociąga za sobą zmniejszenie apertury rzeczywistej układu optycznego mikroskopu*. Konsekwencją tego jest zwiększenie się głębi ostrości.

2.4. Oświetlenie preparatu

Jak już wspomniano, do obserwacji mikroskopowych włókien używa się światła przechodzącego, którego źródłem jest najczęściej lampa mikroskopowa. Lampę, jedną spośród wielu różnych typów, wraz z zasilaczem przedstawiono na rysunku 6.



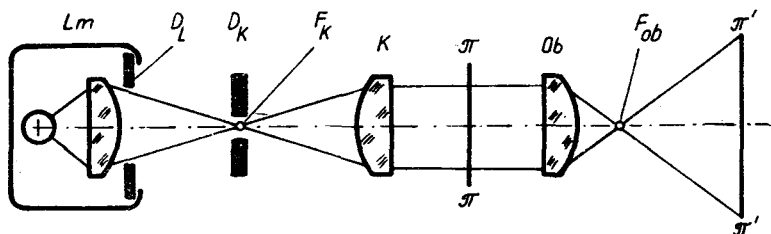
Rys. 6. Lampa mikroskopowa, halogenowa z zasilaczem

Najbardziej racjonalne warunki oświetlenia preparatu stwarza system zaproponowany przez Köhlera. System ten zapewnia równomierne i jednocześnie intensywne oświetlenie preparatu przy stosunkowo małych rozmiarach źródła światła. W systemie Köhlera (rys. 7) źródło światła odwzorowuje się za pomocą soczewki lampy mikroskopowej w płaszczyźnie

* Pamiętać przy tym jednak należy, że zmniejszenie apertury powoduje zmniejszenie zdolności rozdzielczej mikroskopu, co wpływa na pogorszenie się jakości obrazu.



przysłony kondensora umieszczonej w jego ognisku. Na preparat rzutuje się tylko obraz przysłony znajdującej się tuż za soczewką lampy mikroskopowej. W ten sposób na preparat pada pod różnymi kątami nieskończenie wiele równoległych wiązek światła, których źródłem jest każdy punkt otworu przysłony kondensora.



Rys. 7. Schemat oświetlenia według Köhlera

L_m - lampa mikroskopowa, D_L - przysłona lampy, D_K - przysłona na kondensora, K - kondensor, Ob - obiektyw, π - płaszczyzna przedmiotowa, π' - płaszczyzna obrazowa

W praktyce, omawiany sposób oświetlenia zapewnić można przez wykonanie następujących czynności w podanej kolejności - należy:

1. Założyć okular i obiektyw o najmniejszych powiększeniach, kondensor umieścić w górnym położeniu, tubus opuścić maksymalnie w dół, tak aby obiektyw znalazł się tuż nad kondensorem, przymknąć przysłonę kondensora do średnicy otworu 1-2 mm.

2. Przymknąć przysłonę lampy do średnicy otworu 1-2 mm, skierować światło na płaską stronę lusterka. Wyregulować położenie żarówki lampy w taki sposób, aby uzyskać ostry obraz spirali żarówki na przysłonie kondensora. Uzyskanie takiego obrazu kontroluje się patrząc z przodu na lusterko.

3. Patrząc przez okular sprawdzić czy obraz plamki świetlnej znajduje się w środku pola widzenia; jeżeli nie, należy odpowiednio zmienić położenie lusterka. Po zlokalizowaniu plamki świetlnej w środku pola widzenia przesunąć nieco tubus, tak aby uzyskać ostry obraz plamki. Następnie, skorygować lusterkiem jej centralne położenie.

4. Podnieść tubus do takiego położenia, aby plamka świetlna wypełniła całe pole widzenia.



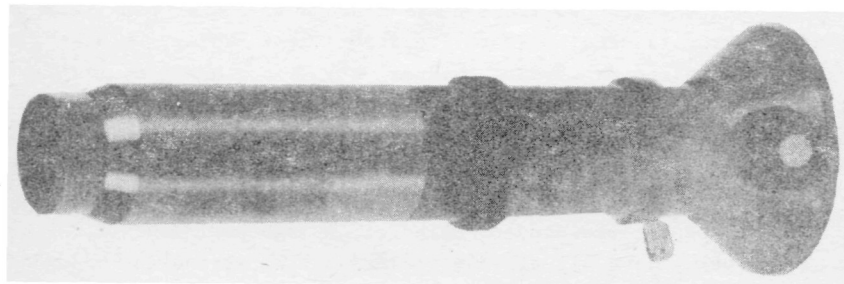
5. Opuścić kondensator nieco w dół. Otworzyć przysłonę lampy i kondensatora tak, aby średnice otworów zawierały się w granicach $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$ średnic opravek.

6. Patrząc przez okular wyregulować intensywność oświetlenia zmieniając w pierwszym rzędzie położenie kondensatora, a w razie potrzeby również otwór przysłony lampy.

2.5. Elementy wyposażenia dodatkowego mikroskopu

Mikroskop można wykorzystać do pomiaru grubości włókien i pola powierzchni ich przekroju poprzecznego. Pomiary takie realizuje się za pomocą odpowiedniego wyposażenia dodatkowego mikroskopu. Elementami takiego wyposażenia są: nasadka rysunkowa, mikrometryczna płytki wzorcowa, okular pomiarowy, okular mikrometryczny.

Nasadka rysunkowa (rys. 8) - przeznaczona jest do rysowania oglądanych pod mikroskopem przedmiotów. Umożliwia ona jednoczesną obserwację przedmiotu i końca ołówka, którym rysuje się obraz. Najlepszą jakość obrazów uzyskuje się wówczas, gdy oświetlenie preparatu jest wyrównane w stosunku do oświetlenia płaszczyzny rysunku. Wyrównanie oświetlenia uzyskać można przez odpowiednią zmianę położenia kondensatora lub zmianę napięcia prądu zasilającego lampę mikroskopową. Nie jest wskazane wyrównywanie oświetlenia przez przysłanianie przysłony kondensatora, ponieważ prowadzi to do zmniejszenia zdolności rozdzielczej mikroskopu.



Rys. 8. Mikroskopowa nasadka rysunkowa

Jeden z prostszych sposobów wyznaczenia pola powierzchni przekroju poprzecznego włókna polega na tym, że obraz przekroju rysuje się na papierze milimetrowym. Następnie, oblicza się liczbę K_S - kwadra-

cikow o boku b objętych przez zarys przekroju:

$$K_S = K_1 + 0,5 K_2, \quad (21)$$

gdzie K_1 - liczba kwadratów objętych całkowicie,

K_2 - liczba kwadratów częściowo zajętych przez przekrój.

Jeżeli $b = 1$ mm, a powiększenie obrazu w płaszczyźnie rysunku wynosi p_r , to powierzchnię przekroju poprzecznego włókna w mikrometrach kwadratowych obliczyć można z wzoru

$$S = \frac{10^6 \cdot K_S}{p_r^2} \left[\mu\text{m}^2 \right]. \quad (22)$$

Powiększenie obrazu w płaszczyźnie rysunku

$$p_r = p \frac{L}{250}, \quad (23)$$

gdzie p - powiększenie mikroskopu,

L - odległość pryzmatu nasadki od płaszczyzny rysunku, w milimetrach.

Mikrometryczna płytką wzorcowa (rys. 9) - nazywana również mikrometrem przedmiotowym ma postać szkiełka mikroskopowego przedmiotowego o wymiarach $75,5 \times 25,5$ mm. Umieszczona jest na niej podziałka i zaznaczona wartość działki elementarnej.

Okular pomiarowy jest przeznaczony do mierzenia wielkości liniowych przedmiotów obserwowanych przez mikroskop. Pomiar umożliwia wkładka mikrometryczna, w którą wyposażony jest okular. Wkładkę, nazywaną mikrometrem okularowym, stanowi płytką szklaną z naniesioną na jej powierzchnię podziałką. Najczęściej jest to podziałka 10 mm podzielona na 100 części (10/100), podziałka 5 mm podzielona na 100 części (5/100) lub podziałka 5 mm podzielona na 50 części (5/50).

Przed wykonaniem pomiaru należy najpierw określić stałą mikrometru okularowego, odpowiadającą wartości użytego powiększenia obiektywu. W tym celu używa się mikrometrycznej płytki wzorcowej, umieszczając ją na stoliku mikroskopu zamiast preparatu. Po ustawieniu oświetlenia mikroskopu w polu widzenia powinny być widoczne podziałki skali mikrometrów: okularowego i przedmiotowego. W tej sytuacji należy policzyć ile działek elementarnych skali mikrometru przedmiotowego pokrywa określoną ilość działek skali mikrometru okularowego. Znajac wartość działki elementarnej płytki wzorcowej, stałą mikrometru okularowego odpowiadającą danemu powiększeniu obiektywu wyznacza się z wzoru

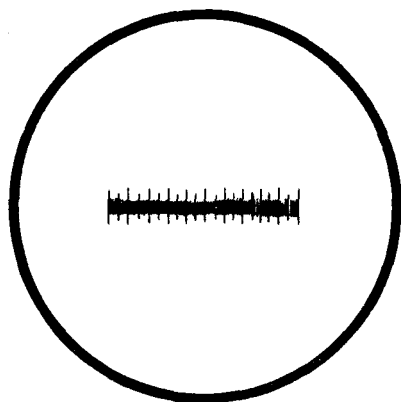
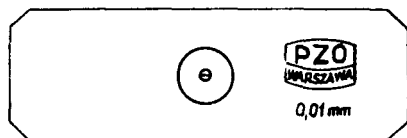


$$K_{OP} = \frac{m_p \cdot e_{PW}}{m_0}, \quad (24)$$

gdzie m_p - liczba działek skali mikrometru przedmiotowego przypadająca na m_0 ,

m_0 - liczba działek skali mikrometru okularowego,

e_{PW} - wartość działki elementarnej mikrometru przedmiotowego (płytki wzorcowej).

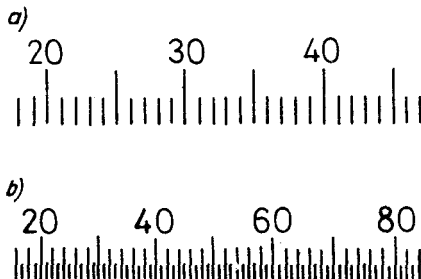


Rys. 9. Mikrometryczna płytka wzorcowa

Ostatecznie, w celu obliczenia grubości włókna należy liczbę działek skali mikrometru okularowego, odpowiadającą mierzonej wielkości, pomnożyć przez stałą K_{OP} .

Okular mikrometryczny (rys. 11) - stanowi udoskonaloną wersję okularu pomiarowego.

Okular mikrometryczny jest wy-



Rys. 10. Podziałki okularowej wkładki mikrometrycznej a - 10/100, b - 5/100

posażony w urządzenie mikrometryczne i dwie płytki: a - nieruchomą, z naniesioną podziałką milimetrową, b - ruchomą, z naniesionym krzyżem (dwie proste wzajemnie prostopadłe, przecinające się) i bisektorem (dwa odcinki równoległe położone blisko siebie).

Urządzenie mikrometryczne składa się ze śruby o skoku 1 mm i bębna, którego obwód podzielony jest na 100 części za pomocą naciętej podziałki. Urządzenie mikrometryczne służy do przesuwania płytki z krzyżem i bisektorem w polu widzenia okularu. Podczas tego ruchu



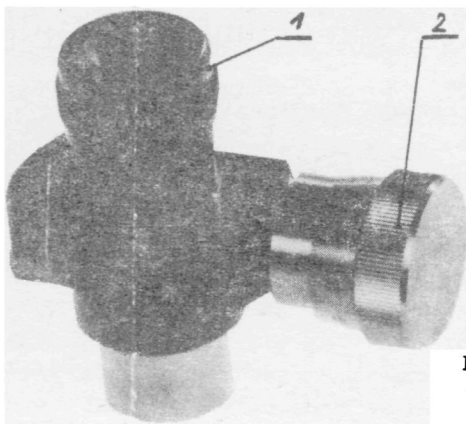
bisektor przemieszcza się wzdłuż nieruchomej skali podziałki milimetrowej. Położenie środka bisektora odpowiada położeniu punktu wskaźnikowego, którym jest punkt przecięcia się ramion krzyża. Pozycję punktu wskaźnikowego określa się przez dokonanie odczytu wskazań bisektora i kreski na bębnie mikrometrycznym. W okularze przyrządu, bisektor wskazuje na skali liczbę działek bębna w setkach, a kreska na bębnie określa ich liczbę w dziesiątkach i jednostkach.

Wartość działki elementarnej okularu mikrometrycznego zależy od powiększenia obiektywu użytego do pomiaru. Dla obiektywu o danym powiększeniu należy wyznaczyć wartość stałej okularu - K_{OM} . Wartość tę wyznacza się za pomocą mikrometrycznej płytki wzorcowej użytej jako preparat. Podstawę wyznaczenia wartości K_{OM} stanowi dokonanie dwóch odczytów: L_1 i L_2 , które określają dwa kolejne położenia punktu wskaźnikowego. L_1 - określa pozycję punktu wskaźnikowego ustawionego na dowolną kreskę podziałki mikrometru przedmiotowego. L_2 - określa pozycję tego samego punktu przesuniętego za pomocą bębna na inną kreskę podziałki, oddaloną od poprzedniej o m_P - działek elementarnych (e_{PW}). Po dokonaniu odczytów wartość stałej K_{OM} oblicza się z wzoru

$$K_{OM} = \frac{e_{PW} m_P}{|L_1 - L_2|}, \quad (25)$$

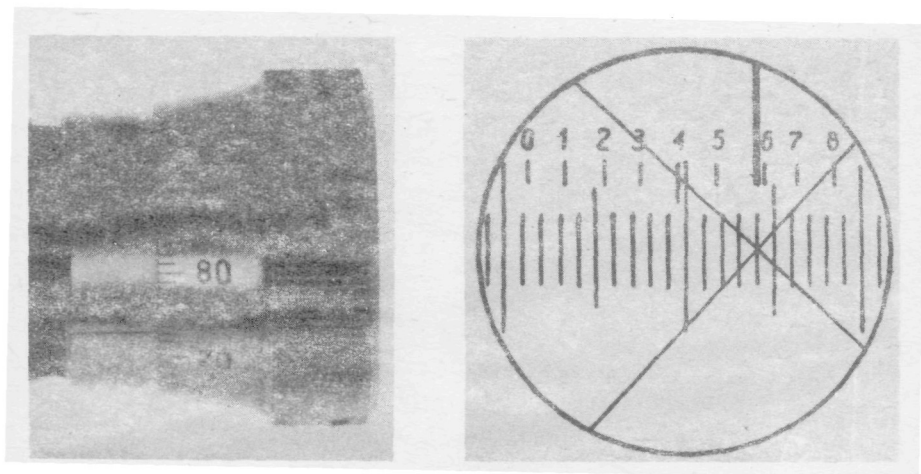
gdzie e_{PW} - wartość działki elementarnej mikrometru przedmiotowego (płytki wzorcowej),

m_P - liczba działek skali mikrometru przedmiotowego przypadająca na m_0 .



Rys. 11. Okular mikrometryczny

1 - okular, 2 - bęben z podziałką mikrometryczną



Rys. 12. Przykład pomiaru za pomocą okularu mikrometrycznego, odczyt:
 $L = 587$ dźwięków

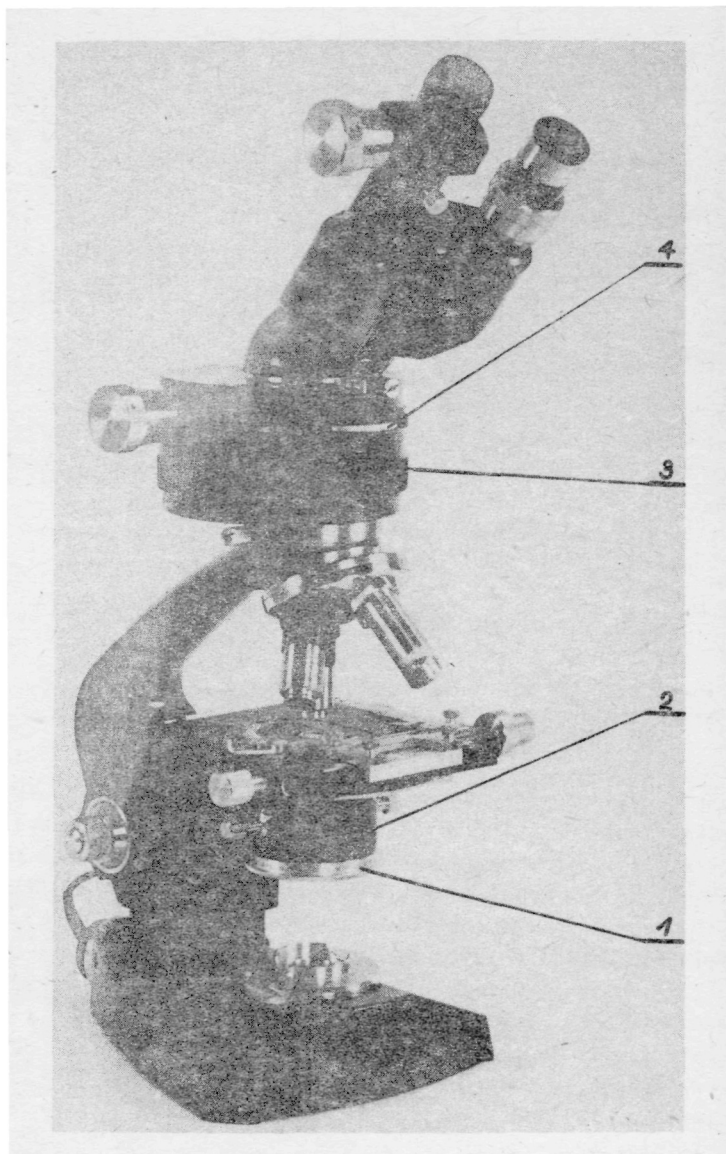
2.6. Elementy

wyposażenia specjalnego mikroskopu

We współczesnych badaniach mikroskopowych dużą rolę odgrywa metoda mikroskopii interferencyjnej. Metoda ta stwarza szerokie możliwości obserwacji nie tylko jakościowych, ale również i badań ilościowych. Tak więc, oprócz możliwości wykorzystania mikroskopii interferencyjnej do obserwacji mikroobiektów przezroczystych (fazowych), wymieniona metoda służy do pomiaru takich wielkości jak różnica dróg optycznych (przesunięcie fazowe), współczynnik załamania światła, przepuszczalność światła, wskaźnik dwójłomności.

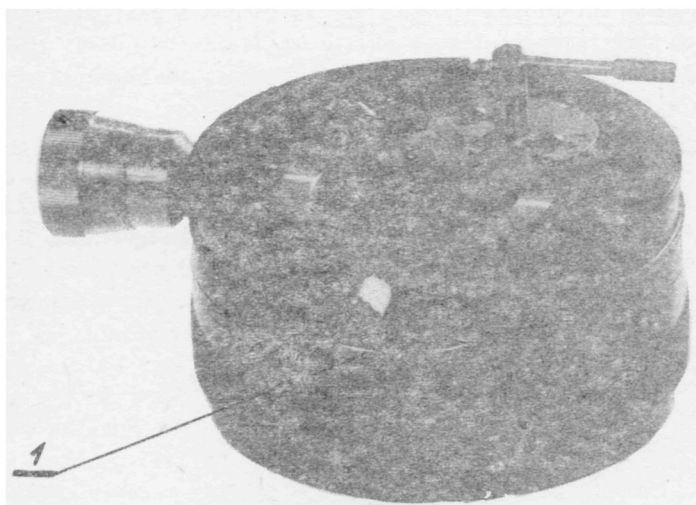
Szczególnie duże możliwości badań ilościowych stwarzają urządzenia polaryzacyjno-interferencyjne. Mikroskopy wyposażone w takie urządzenia (rys. 13) umożliwiają wykonanie określonego pomiaru różnymi metodami interferencyjnymi m.in.: prążkową, jednorodnego pola, dyferencjalną. Każda z tych metod realizowana jest za pomocą odpowiedniego pryzmatu dwójłomnego. Pryzmaty dwójłomne umieszczone są w głowicy interferencyjnej, która stanowi zasadniczą część wyposażenia specjalnego mikroskopu. Oprócz głowicy w skład urządzenia polaryzacyjno-inter-



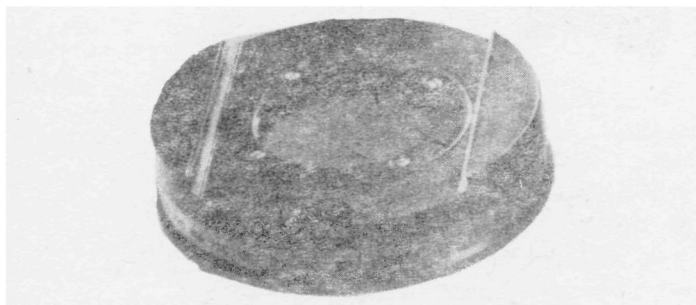


Rys. 13. Mikroskop MB 30 z urządzeniem polaryzacyjno-interferencyjnym

1 - polaryzator, 2 - kondensor z przysłoną szczelinową, 3 - głowica interferencyjna, 4 - analizator



Rys. 14. Głowica interferencyjna
1 - oprawa analizatora



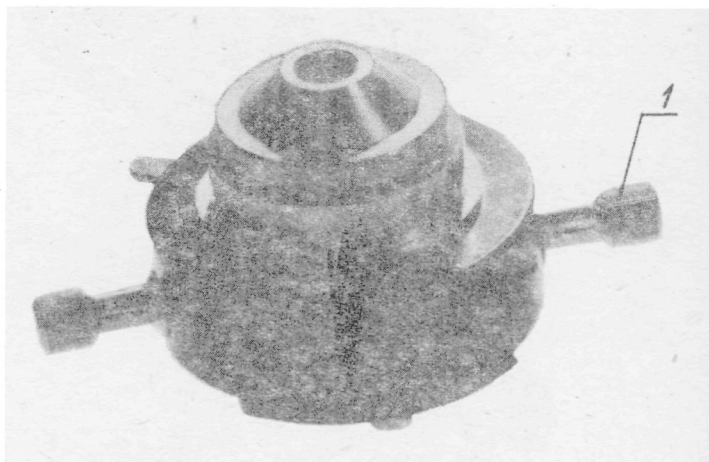
Rys. 15. Polaryzator

ferencyjnego wchodzi elementy polaryzujące światło. W skład kompletu wchodzi dodatkowo kondensor z przysłoną szczelinową.

Głowica interferencyjna (rys. 14) mocowana jest w gnieździe mikroskopu między jego głowicą, a okularową nasadką dwuoczną lub jednooczną. Z głowicą interferencyjną związana jest konstrukcyjnie obrotowa oprawa elementu polaryzującego (analizatora).

Elementy polaryzujące - służą do polaryzacji liniowej światła. Najczęściej są to filtry świetlne zwane polaroidami.

W zależności od tego, w której części mikroskopu jest zlokalizowany polaroid, nosi on nazwę polaryzatora lub analizatora. Z reguły, polaryzator znajduje się w części oświetleniowej mikroskopu, pod kondensorem, analizator - między pryzmatem dwójłomnym (głowica interferencyjna), a okulem mikroskopowym.



Rys. 16. Kondensor z przysłoną szczelinową

1 - pokrętko do regulacji szerokości szczeliny

Na obrotowym kręgu oprawy polaryzatora (rys. 15) nacięta jest podziałka kątowa. Znajdujące się na podziałce znaki X i || oznaczają położenie prostopadłe i równoległe polaryzatora względem analizatora ustawionego na wartość 45. Wartość tę można odczytać z podziałki stopniowej naciętej na oprawie analizatora - zlokalizowanego w głowicy interferencyjnej.



Kondensor z przysłoną szczelinową* (rys. 16). Przysłona szczelinowa składa się z dwóch szczęk osadzonych w odpowiednich suwnicach. Szczęki można przesuwając niezależnie jedną od drugiej za pomocą odpowiednich pokręteł.

2.7. Przygotowanie włókien do obserwacji mikroskopowej

Przygotowanie włókien do obserwacji mikroskopowej polega na sporządzeniu odpowiednich preparatów. Z reguły, są to preparaty nietrwałe, tj. wykonywane bezpośrednio przed obserwacją i służące do jednorazowego użytku. Dwie podstawowe postacie takich preparatów to preparaty do obserwacji widoków wzdłużnych włókien i preparaty do obserwacji przekrojów poprzecznych włókien.

Preparat do obserwacji widoków wzdłużnych włókien wykonuje się rozkładając kilka do kilkunastu włókien na tzw. szkiełku przedmiotowym. Przy tym, z punktu widzenia zabezpieczenia właściwej jakości (ostrości) obrazu mikroskopowego, istotne jest, aby włókna nie leżały jedno na drugim, lecz aby były rozmieszczone w jednej płaszczyźnie. Po rozłożeniu włókien na szkiełku, nanosi się na nie kroplę odpowiedniej cieczy imersyjnej. Najczęściej jest to woda destylowana, gliceryna lub jodochlorek cynkowy. Zanurzenie włókien w odpowiedniej cieczy imersyjnej wypukła szczegóły ich budowy, a przez to ułatwia obserwację i rozpoznanie włókien. Końcowym etapem przygotowania preparatu jest nakrycie włókien szkiełkiem nakrywkowym. Czynność tę należy wykonać w taki sposób, aby pod szkiełkiem nakrywkowym nie pozostały pęcherzyki powietrza; ich obecność wybitnie pogarsza jakość obrazu mikroskopowego.

Nieco inaczej przygotowuje się preparat przeznaczony do obserwacji zachowania się włókna pod działaniem odczynnika chemicznego. W takim przypadku sporządza się tzw. preparat suchy - bez cieczy imersyjnej. Preparat umieszcza się na stoliku przedmiotowym mikroskopu i dopiero po znalezieniu obrazu włókien wkrapla się odczynnik na krawędź szkiełka nakrywkowego. Obserwując ciągle obraz włókien, po chwili, gdy odczynnik zostanie wessany pod szkiełko nakrywkowe, można zaobserwować efekt jego działania, to znaczy można prześledzić nie tylko ostateczny wynik działania odczynnika, lecz również proces zmian zachodzących w czasie tego oddziaływania.

* Wykorzystanie przysłony, vide p. 3.4.



Preparaty, służące do obserwacji przekrojów poprzecznych włókien, w sposób najprostszy można wykonać za pomocą tzw. płytki Schwartza. Z reguły, jest to płytka metalowa o wymiarach szkiełka przedmiotowego i grubości $\leq 0,8$ mm posiadająca otworek (otwórki) o średnicy $0,5 \div 0,8$ mm. Przez otwór przeciąga się nitkę w taki sposób, aby z jednej strony płytki powstała pętla. W pętlę wkłada się wiązkę włókien, które następnie przeciąga się przez otwór tak, aby ich część znalazła się również i po drugiej stronie płytki. Włókna, wystające z otworu po obu stronach płytki, obcina się żyłką. Czynność ta powinna być wykonana na tyle starannie, aby wszystkie włókna zostały obcięte możliwie w jednej płaszczyźnie; gwarantuje to uzyskanie odpowiednio wysokiej jakości obrazu mikroskopowego.

2.8. Rozpoczęcie obserwacji mikroskopowej

Przystępując do obserwacji mikroskopowych należy pamiętać o zasadach ogólnych, które obowiązują w tym zakresie. Przestrzeganie tych zasad, znakomicie usprawniając pracę, przyczynia się do szybkiego znalezienia właściwego dobrego obrazu.

Obserwację mikroskopową włókien należy zawsze rozpoczynać przy małym powiększeniu (praktycznie 100-krotnym). W pozycji wyjściowej tubus powinien być opuszczony tak nisko, aby obiektyw znajdował się tuż nad preparatem. Z tej pozycji, patrząc jednocześnie przez okular, za pomocą pokrętki przesuwu zgrubnego należy powoli podnosić tubus do położenia, przy którym widoczne stają się kontury obrazu włókna. Następnie pokrętkiem przesuwu drobnego ustawia się ostry obraz preparatu. Ostrość jest właściwa wówczas, gdy cały obraz włókna jest widoczny jednakowo wyraźnie, a krawędzie włókna tworzą linie najciemsze z możliwych. Na koniec, fragment obrazu będący obiektem zainteresowania umieszcza się w środku pola widzenia. Takie usytuowanie fragmentu obrazu zabezpiecza możliwość obserwacji tego fragmentu również w polu widzenia - zmniejszonym, w wyniku zastosowania większego powiększenia.

Większe powiększenie obrazu włókna uzyskuje się przez zastosowanie obiektywu o większym powiększeniu. Zmiany obiektywu dokonuje się bez zmiany położenia tubusa i preparatu. Po zmianie obiektywu, w zmniejszonym obecnie polu widzenia, powinien być od razu widoczny nieostry obraz przedmiotu. Wystarczy więc wyregulować ostrość za pomocą pokrętki przesuwu drobnego. Z reguły, po zwiększeniu powiększenia, konieczne jest również zwiększenie intensywności oświetlenia preparatu.



LITERATURA

- [1] J ó ź w i c k i R.: Optyka instrumentalna, WNT, Warszawa 1970.
- [2] H o d a m F.: Wzory i tablice optyki technicznej, WNT, Warszawa 1977.
- [3] Ż y l i ń s k i T.: Metrologia włókiennicza. t. 1. WPLiS, Warszawa 1967.
- [4] K a l i n o w s k i J., U r b a ń c z y k G.W.: Włókna chemiczne, WPLiS, Warszawa 1963.



3. ZASTOSOWANIE MIKROSKOPU Z URZĄDZENIEM POLARYZACYJNO-INTERFERENCYJNYM DO POMIARU WSKAŹNIKA DWÓJŁOMNOŚCI WŁÓKNIEN

Jak już wspomniano, mikroskopia interferencyjna stwarza szerokie możliwości ilościowej oceny własności optycznych włókien. W szczególności zastosowanie urządzenia polaryzacyjno-interferencyjnego umożliwia pomiar wskaźnika dwójłomności, który w sposób ilościowy charakteryzuje anizotropię optyczną włókna.

Wskaźnik dwójłomności można traktować jako wielkość charakteryzującą orientację ogólną włókna. Teoretyczną podstawę takiego ujęcia zagadnienia stanowi związek jaki istnieje między cechami anizotropowymi włókna, a jego orientacją. Argumentem dodatkowym na rzecz takiego ujęcia jest tutaj fakt, że wpływ na anizotropię optyczną czynników innych niż orientacja jest albo stały dla danego rodzaju tworzywa włókna, albo pomijalnie mały.

Technikę mikroskopową można więc wykorzystać do charakteryzowania fizycznej mikrostruktury włókien. W konkretnym przypadku, pomiary wykonane za pomocą mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego pozwalają ocenić orientację ogólną. Możliwość oceny tego podstawowego parametru struktury włókna ma duże znaczenie praktyczne. Wynika to stąd, że stopień orientacji wpływa w sposób decydujący na wiele własności fizycznych i chemicznych włókna. W ten sposób więc, orientacja bezpośrednio determinuje zarówno możliwości jak i zakres wykorzystania włókien, a tym samym określa cechy użytkowe wyrobu włókienniczego.

3.1. Anizotropia optyczna

Anizotropia oznacza zróżnicowanie ilościowych charakterystyk określonej cechy danego ciała w zależności od kierunku, w którym ta cecha jest badana.

Anizotropia własności fizycznych i chemicznych stanowi charakterystyczną cechę włókien. W szczególności, włókna odznaczają się anizotropią optyczną. Oznacza to między innymi, że prędkość rozchodzenia



się światła w tworzywie włókna jest różna w różnych kierunkach. Największe zróżnicowanie prędkości obserwuje się wówczas, gdy porównuje się odpowiednie wartości wyznaczone w kierunkach prostopadłym i równoległym w stosunku do osi włókna. Maksymalna wartość różnicy prędkości światła rozchodzącego się w wymienionych kierunkach stanowi podstawową miarę anizotropii optycznej.

Nasilenie cech anizotropowych włókna zależy od budowy chemicznej i fizykochemicznej tworzywa, stopnia orientacji włókna, charakteru optycznego i kształtu elementów struktury krystalicznej. Każdy z wymienionych zespołów cech przyczynia się oddzielnie w swoisty sposób do tego, że włókno jest mniej lub bardziej anizotropowe optycznie. Inaczej mówiąc, w kontekście wymienionych trzech zespołów cech, ogólna anizotropia optyczna włókna stanowi wypadkową trzech składowych: anizotropii właściwej, anizotropii orientacyjnej, anizotropii kształtu.

Anizotropia właściwa powstaje w wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie cząsteczek chemicznych tworzywa włókna i promieniowania elektromagnetycznego - w postaci fali świetlnej. Z jednej strony, efektem tego oddziaływania jest polaryzacja elektryczna cząstek chemicznych, z drugiej - hamowanie fali świetlnej spowodowane indukcyjnym oddziaływaniem pól elektrycznych otaczających spolaryzowane cząsteczki. Wielkość efektu hamowania zależy głównie (dla danego rodzaju polimeru) od zdolności polaryzacyjnej tworzywa włókna, która jest zdeterminowana budową fizykochemiczną polimeru. Ponadto, zmiana prędkości biegu światła uwarunkowana jest usytuowaniem kierunku drgań fali świetlnej względem kierunku osi spolaryzowanej cząsteczki. Maksymalne zmniejszenie prędkości biegu światła ma miejsce w przypadku równoległości wymienionych kierunków. Dla określonego rodzaju włókien, udział anizotropii właściwej w anizotropii ogólnej jest stały - charakterystyczny dla danego polimeru.

Anizotropia orientacyjna - na podstawie odpowiednich rozważań analitycznych, zależność cech anizotropowych włókna od jego orientacji można wyrazić równaniem o następującej postaci:

$$n_{\parallel} - n_{\perp} = (n_{\alpha} - n_{\beta}) \frac{3 \cos^2 \Phi - 1}{2}, \quad (26)$$

gdzie $n_{\parallel}$ i $n_{\perp}$ - główne kierunkowe współczynniki refrakcji (załamania) odpowiednio w kierunku równoległym i prostopadłym do osi włókna*,

* Dla światła spolaryzowanego liniowo są to kierunki drgań fali elektromagnetycznej.



n_α i n_β - kierunkowe współczynniki refrakcji odpowiednio w kierunku równoległym i prostopadłym do osi podstawowego elementu strukturalnego tworzywa włókna,

$\bar{\Phi}$ - średni kąt orientacji; średnia w skali włókna wartość kąta, który tworzą osie segmentów makrocząsteczek z osią włókna.

Wprowadzając pojęcie optycznego wskaźnika orientacji

$$f_0 = \frac{3 \cos^2 \bar{\Phi} - 1}{2} \quad (27)$$

oraz pojęcie wskaźnika dwójłomności włókna badanego (vide p. 3.2.)

$$\Delta n = n_{||} - n_{\perp} \quad (28)$$

i włókna idealnego*

$$\Delta n_G = n_\alpha - n_\beta, \quad (29)$$

równanie (26) można przekształcić do postaci

$$\Delta n = \Delta n_G f_0. \quad (30)$$

Biorąc pod uwagę, że wartość Δn_G jest stała dla włókien określonego rodzaju, równanie (30) wyraża wprost proporcjonalną zależność wskaźnika dwójłomności od stopnia orientacji włókna.

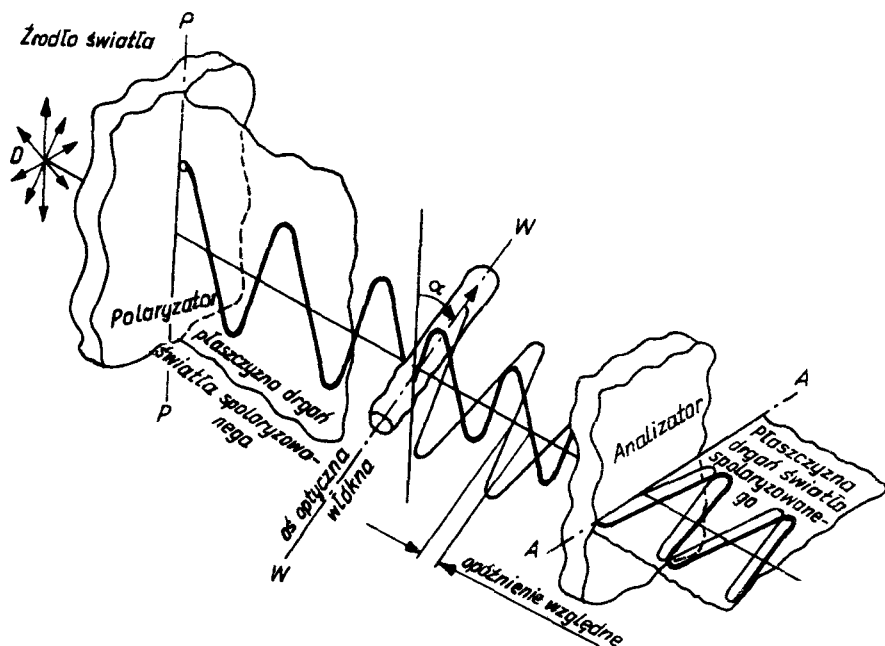
Anizotropia kształtu powstaje jako efekt występowania zróżnicowania wartości współczynników refrakcji - charakterystycznych dla poszczególnych części semikrystalicznego tworzywa włókna. Dodatkowo, nasilenie cech anizotropowych zależy w tym wypadku od kształtu oraz izotropowości lub anizotropowości struktur krystalicznych. W sumie, wkład anizotropii kształtu w anizotropię ogólną jest niewielki, pomijalnie mały dla wielu rodzajów włókien.

* Mianem włókna idealnego określa się włókno o budowie chemicznej tworzywa identycznej z włóknem badanym, idealnie zorientowane i całkowicie krystaliczne.



3.2. Wskaźnik dwójzłomności

Konsekwencją anizotropowości optycznej włókien jest ich dwójzłomność. Oznacza to, że włókno jako ciało anizotropowe ma zdolność do rozszczepiania promienia świetlnego, biegnącego we włóknie w kierunku różnym od kierunku jego osi optycznej*, na dwa promienie: zwyczajny i nadzwyczajny. Każdy z tych promieni jest spolaryzowany liniowo, a ich płaszczyzny polaryzacji są względem siebie prostopadłe. W przypadku gdy kierunek biegu promienia świetlnego jest prostopadły do osi włókna, płaszczyzna polaryzacji promienia zwyczajnego jest również prostopadła do tej osi, a promienia nadzwyczajnego - równoległa. Promień zwyczajny charakteryzuje się stałą wartością prędkości rozchodzenia się w dowolnym kierunku.



Rys. 17. Schemat interferencji promieni - zwyczajnego i nadzwyczajnego - przesuniętych w fazie o wielkość γ

* We włóknie oś optyczna pokrywa się z osią geometryczną.



Prędkość rozchodzenia się promienia nadzwyczajnego jest zmienna, różna w różnych kierunkach. Konsekwencją różnicy prędkości jest powstawanie przesunięcia fazowego - γ (opóźnienia względnego) promienia nadzwyczajnego względem zwyczajnego, po ich przejściu przez włókno (rys. 17).

Wartość przesunięcia fazowego jest określona odległością między czołami dwóch ciągów falowych, występujących w postaci promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego, mierzona w kierunku rozchodzenia się światła. Wartość przesunięcia fazowego można wyznaczyć z wzoru, który wyraża wprost proporcjonalną zależność γ od drogi optycznej t , przebytej przez promień świetlny

$$\gamma = \Delta n \cdot t \quad (31)$$

gdzie Δn - współczynnik proporcjonalności - wskaźnik dwójłomności.

W tym wypadku wskaźnik dwójłomności wyraża różnicę wartości współczynników refrakcji promienia nadzwyczajnego i zwyczajnego

$$\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp} \quad (32)$$

gdzie $n_{\parallel}$ - współczynnik refrakcji promienia spolaryzowanego w płaszczyźnie równoległej do osi włókna,

$n_{\perp}$ - współczynnik refrakcji promienia spolaryzowanego w płaszczyźnie prostopadłej do osi włókna.

Wzór (31) umożliwia obliczenie wskaźnika dwójłomności pod warunkiem, że znane są wartości t i γ .

W przypadku włókien o przekroju kołowym dla promienia przechodzącego przez oś włókna, drogę optyczną można utożsamiać ze średnicą włókna, co sprawia, że jej pomiar nie przedstawia większych trudności.

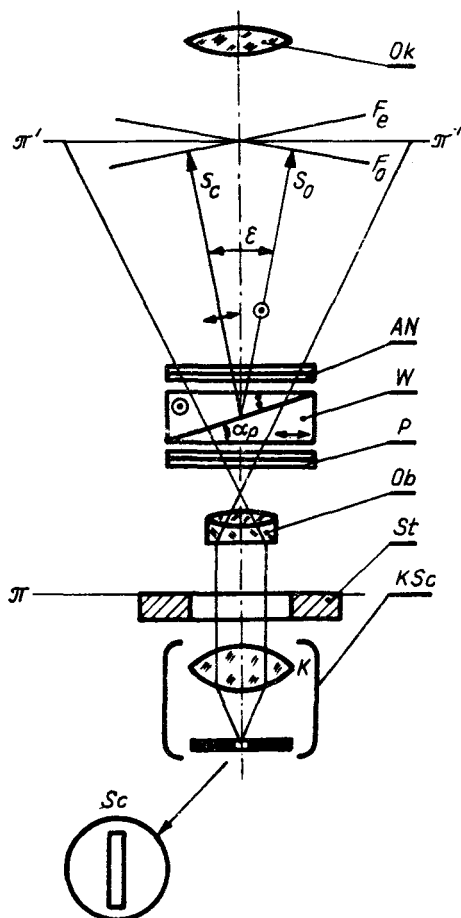
Pomiar wartości przesunięcia fazowego umożliwia urządzenie polaryzacyjno-interferencyjne. Mikroskop wyposażony w takie urządzenie nazywa się mikroskopem polaryzacyjno-interferencyjnym.

3.3. Zasada działania mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego

Schemat mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego przedstawiono na rysunku 18.



Podstawową częścią układu optycznego mikroskopu jest pryzmat dwójłomny (W) typu Wollastona. Rozdzwaja on (rozdwila) przechodzący przez niego promień świetlny na dwa promienie: zwyczajny i nadzwyczajny oraz wytwarza przesunięcie fazowe między tymi promieniami.



Rys. 18. Schemat mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego z pryzmatem dwójłomnym Wollastona

K - kondensor, S_c - przysłona szczelinowa, St - stolik mikroskopu, Ob - obiektyw, P - polaryzator, W - pryzmat dwójłomny, AN - analizator, Ok - okular, S_o - promień zwyczajny, S_e - promień nadzwyczajny
 π - płaszczyzna przedmiotowa, π' - płaszczyzna obrazowa



Rozwiedlenie i przesunięcie fazowe są to efekty powstające w wyniku specyficznej budowy pryzmatu Wollastona. Składa się on bowiem z dwóch identycznych klinów kwarcowych sklejonych tak, że tworzą płytke płaskorównoległą. Oś optyczna każdej części pryzmatu usytuowana jest równolegle do jego zewnętrznych powierzchni. Jednak w jednej części pryzmatu kierunek osi jest prostopadły do krawędzi łamiącej klina (krawędź przy kącie α_p), a w drugiej - równoległy.

Promień świetlny, spolaryzowany w wyniku przejścia przez polaryzator (P), wchodząc do pierwszej części pryzmatu ulega rozszczepieniu na promień zwyczajny i promień nadzwyczajny. Dalej promienie te biegną ciągle w tym samym kierunku, lecz już z różnymi prędkościami. Rozwiedlenie promieni następuje w chwili wejścia do drugiej części pryzmatu i jest tym większe, im większy jest kąt łamiący pryzmatu α_p . Wychodząc z pryzmatu, promienie są spolaryzowane w płaszczyznach względem siebie prostopadłych. Przy tym promień wychodzący jako nadzwyczajny jest spolaryzowany w płaszczyźnie przekroju głównego pryzmatu. Po przejściu przez analizator (AN) obie płaszczyzny polaryzacji zostają sprowadzone do jednej - płaszczyzny polaryzacji analizatora. Tym samym powstają warunki odpowiednie do interferencji spolaryzowanych promieni. W wyniku superpozycji powstaje specyficzny obraz interferencyjny, którego schemat tworzenia ilustruje rysunek 19.

Wspomniany obraz interferencyjny tworzą prążki biegnące równolegle do krawędzi łamiącej pryzmatu, zlokalizowane w obrębie pryzmatu*. Odległość między prążkami - h - jest stała wzdłuż całej długości pryzmatu i wyraża się wzorem

$$h = \frac{\lambda}{\varepsilon}, \quad (33)$$

gdzie ε - rozwiedlenie kątowe promieni,
 λ - długość fali użytego światła.

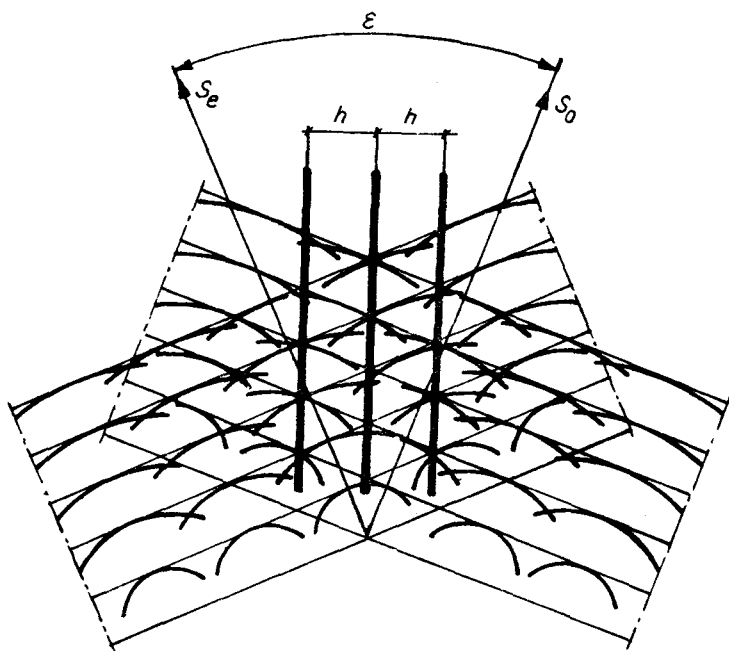
Intensywność prążków jest największa wówczas, gdy płaszczyzny polaryzacji polaroidów tworzą kąt 45° z krawędzią łamiącą pryzmatu.

Przy stosowaniu światła monochromatycznego prążki są na przemian ciemne i jasne. W warunkach skrzyżowanych polaroidów (płaszczyzny polaryzacji P i AN - prostopadłe) ciemne prążki powstają w tych

* W budowanych obecnie mikroskopach polaryzacyjno-interferencyjnych prążki zlokalizowane są zwykle w pewnej odległości poniżej pryzmatu. Takie usytuowanie prążków wynika ze stosowania pryzmatów o zmodyfikowanej budowie - składających się nie z dwóch, lecz z trzech części.



miejscach pryzmatu, gdzie różnica drogi optycznej między interferującymi promieniami jest zerowa lub równa całkowitej wielokrotności długości fali λ użytego światła. Prążki jasne powstają w tych miejscach, gdzie różnica drogi optycznej równa się nieparzystej wielokrotności połowy długości fali. Sytuacja jest odwrotna, gdy polaroidy są usytuowane równoległe względem siebie.



Rys. 19. Uproszczony schemat tworzenia obrazu prążkowego w mikroskopie polaryzacyjno-interferencyjnym

W świetle białym obserwuje się prążki barwne rozmieszczone symetrycznie względem prążka środkowego - tzw. prążka zerowego rzędu. Przy skrzyżowanych polaroidach prążek zerowego rzędu jest czarny, a przy równoległych - biały. Prążek ten powstaje w tym miejscu pryzmatu, gdzie grubość jego części składowych jest taka sama, a więc różnica drogi optycznej równa zero. Poczynając od prążka zerowego rzędu w jednym i w drugim kierunku, barwy interferencyjne zmieniają się według skali barw, noszącej nazwę ciągu barw interferencyjnych Newtona.



3.4. Interferencyjne pole prążkowe

Prążki interferencyjne zlokalizowane w obrębie pryzmatu można obserwować w polu widzenia mikroskopu tylko wówczas, gdy obraz tych prążków odwzorowany zostanie w płaszczyźnie obrazowej mikroskopu. Odwzorowanie takie uzyskuje się tylko wtedy, gdy płaszczyzna lokalizacji prążków nie pokrywa się z ogniskiem obrazowym obiektywu mikroskopowego*. Sytuacja taka powstaje tylko w warunkach stosowania odpowiednio wąskiej szczeliny (S_C) przysłony (D). Aby więc w płaszczyźnie obrazowej mikroskopu powstał kontrastowy obraz pola prążkowego, szerokość obrazu szczeliny nie może być większa niż $\frac{1}{4}$ odległości (h) między prążkami interferencyjnymi pryzmatu. Szerokość szczeliny kondensorowej przy uwzględnieniu tego warunku określona jest następującym wzorem:

$$S_C = \frac{h f_K}{f_{OB}}, \quad (34)$$

gdzie f_K i f_{OB} - ogniskowa, odpowiednio kondensora i obiektywu.

Przy stosowaniu pryzmatu o określonym kącie łamiącym i przy danej ogniskowej kondensora, szerokość szczeliny powinna być zatem tym mniejsza, im mniejsze jest powiększenie obiektywu.

Zespół prążków odwzorowanych w płaszczyźnie obrazowej mikroskopu nosi nazwę interferencyjnego pola prążkowego. Z kolei, wykorzystanie tego pola do pomiaru określonej wielkości nosi nazwę metody prążkowej.

3.5. Pomiar wskaźnika dwójłomności metodą prążkową

Obraz pola prążkowego zmienia się wówczas, gdy w płaszczyźnie przedmiotowej mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjnego na drodze promienia świetlnego zostanie umieszczone włókno. W obszarze zajmowanym przez obraz włókna prążki zostają odkształcone w charakterystyczny sposób. Jeżeli włókno ustawione jest pod kątem 45° do płaszczyzny polaryzacji polaryzatora i jednocześnie równoległe do krawędzi łamiącej pryzmatu, obraz włókna i odkształconych prążków będzie taki jak pokazany na rysunku 20.

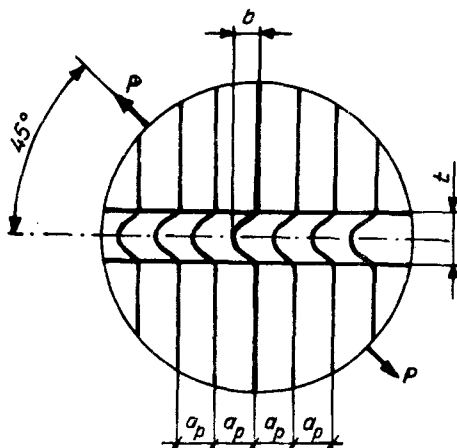
* Gdy punkt rozdziału promieni świetlnych dokładnie pokrywa się z ogniskiem obrazowym obiektywu, to w płaszczyźnie obrazowej mikroskopu otrzymuje się jednorodne pole interferencyjne.



Wielkość odkształcenia b stanowi bezpośrednio miarę przesunięcia fazowego spowodowanego dwójłomnością włókna; zależność między tymi wielkościami wyraża się wzorem

$$\gamma = \Delta n \, t = \frac{b}{a_p} \lambda, \quad (35)$$

gdzie t - droga optyczna - grubość włókna,
 b - odchylenie prążków interferencyjnych w obrazie włókna mierzone wzdłuż osi włókna,
 a_p - odległość między prążkami interferencyjnymi w polu widzenia mikroskopu,
 λ - długość fali świetlnej (dla światła białego $0,55 \mu\text{m}$).



Rys. 20. Obraz włókna w interferencyjnym polu prążkowym przy prostopadłym ustawieniu osi włókna do kierunków prążków interferencyjnych

Po przekształceniu wzór (35) przyjmuje postać dogodną do obliczeń wskaźnika dwójłomności

$$\Delta n = \frac{b \lambda}{a_p t}. \quad (36)$$



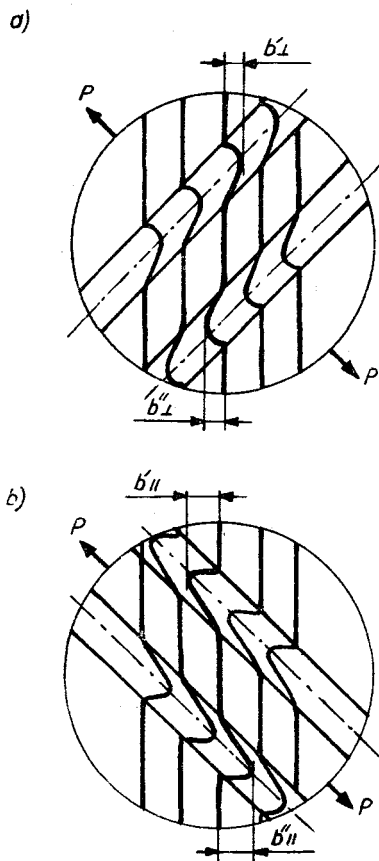
Pomiaru odległości między prążkami oraz wielkości odkształcenia dokonuje się za pomocą okularu mikrometrycznego. Podobnie za pomocą okularu mikrometrycznego łatwo można zmierzyć grubość włókna o postaci cylindrycznej. W tym szczególnym przypadku pomiar drogi optycznej sprowadza się po prostu do pomiaru średnicy włókna.

Zagadnienie staje się bardziej skomplikowane wtedy, gdy włókno odznacza się nieregularnym kształtem przekroju poprzecznego. Wówczas często w ogóle niemożliwe jest dokonanie pomiaru grubości optycznej włókna. W takim przypadku wskaźnik dwójłomności można wyznaczyć mierząc różnicę drogi optycznej włókna względem dwóch środowisk immersyjnych o różnych, ale znanych, współczynnikach refrakcji. Warunkiem wykonania pomiaru jest ustawienie osi włókna w taki sposób, aby raz była ona do

płaszczyzny polaryzacji polaryzatora prostopadła, drugi raz - równoległa. Obrazy włókna usytuowanego w taki właśnie sposób w polu prążkowym przedstawiono na rysunku 21.

W omawianym przypadku włókien o nieregularnym kształcie przekroju poprzecznego, punktem wyjścia przy wyznaczaniu wskaźnika dwójłomności jest układ następujących równań:

$$\begin{aligned}(n_1 - n_{\parallel})t &= \frac{b_{1\parallel}}{a} \lambda, \\(n_1 - n_{\perp})t &= \frac{b_{1\perp}}{a} \lambda, \\(n_2 - n_{\parallel})t &= \frac{b_{2\parallel}}{a} \lambda, \\(n_2 - n_{\perp})t &= \frac{b_{2\perp}}{a} \lambda,\end{aligned}\quad (37)$$



Rys. 21. Obraz włókna w interferencyjnym polu prążkowym przy prostopadłym (a) i równoległym (b) ustawieniu osi włókna do płaszczyzny polaryzacji (PP) polaryzatora

$$a) b_{\perp} = \frac{b'_1 + b''_1}{2}; \quad b) b_{\parallel} = \frac{b'_1 + b''_1}{2}$$



gdzie

n_1 i n_2 - współczynniki załamania pierwszej i drugiej cieczy imersyjnej,

$b_{1||}$ i $b_{1\perp}$ - odchylenia prążków dla usytuowania, odpowiednio równoległego i prostopadłego, osi względem płaszczyzny polaryzacji polaryzatora - włókna zanurzonego w cieczy o współczynniku załamania n_1 ,

$b_{2||}$ i $b_{2\perp}$ - jak wyżej, dla cieczy o współczynniku refrakcji n_2 .

Po odpowiednim przekształceniu układu równań (37) uzyskuje się następujące wzory - dogodnie do bezpośrednich obliczeń wartości głównych kierunkowych współczynników refrakcji:

$$n_{||} = \frac{n_2 b_{1||} - n_1 b_{2||}}{b_{1||} - b_{2||}} \quad (38)$$

$$n_{\perp} = \frac{n_2 b_{1\perp} - n_1 b_{2\perp}}{b_{1\perp} - b_{2\perp}} \quad (39)$$

Szukaną wartość wskaźnika dwójłomności stanowi różnica: $\Delta n = n_{||} - n_{\perp}$.

Przy stosowaniu metody prążkowej najkorzystniej jest posługiwać się prążkiem interferencyjnym zerowego rzędu. Prążek ten rozpoznaje się najłatwiej, gdyż w świetle białym jest czarny i ma wyraźnie zaznaczone minimum natężenia światła.

LITERATURA

- [1] U r b a ń c z y k G. W.: Fizyka włókna. Własności fizyczne włókien, WNT. Warszawa 1974, s. 239.
- [2] P l u t a M.: Mikroskopia fazowo-kontrastowa i interferencyjna, PWN, Warszawa 1965.
- [3] Urządzenia polaryzacyjno-interferencyjne MPI 2, MPI 3. WKiC. PZO Warszawa 1966.
- [4] P l u t a M.: Zastosowanie mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego do pomiaru dwójłomności włókien. Przegląd Włókienniczy 19, 261, 1965.



4. WŁÓKNA BIAŁKOWE

Tworzywem włókien białkowych są polimery naturalne, których liniowa makrocząsteczka składa się z reszt α - aminokwasów połączonych ze sobą wiązaniami peptydowymi.

Włókna białkowe dzielą się na naturalne i sztuczne. Do grupy naturalnych włókien białkowych zalicza się te, które stanowią okrywę włosową ssaków lub produkt wydzielania: gąsiennic określonych gatunków motyli, pajaków, małży morskich. Spośród wielu takich włókien największe znaczenie ma wełna owcza i jedwab naturalny. Natomiast spośród sztucznych włókien białkowych pewne znaczenie włókiennicze mają włókna kazeinowe i kolagenowe.

4.1. Tworzywo włókien

Tworzywo włókien białkowych powstaje w wyniku syntezy α -aminokwasów. Poszczególne reszty α - aminokwasów, wchodzących w skład makrocząsteczki tworzywa włókna, różnią się pomiędzy sobą charakterem chemicznym, określonym rodzajem występującego w nich rodnika. Różnorodność białek włóknotwórczych (podobnie jak i innych białek) warunkowana jest przede wszystkim rodzajem reszt α - aminokwasów wchodzących w skład polimeru, ich udziałem ilościowym oraz kolejnością uszeregowania (sekwencji) reszt α - aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym.

Skład aminokwasowy (rodzaj reszt α - aminokwasów i ich udział ilościowy) określa tzw. pierwotną strukturę białka, a sekwencja aminokwasów w makrocząsteczce - strukturę wtórną. Trzeciorzędową strukturę białka charakteryzuje przestrzenna konformacja pojedynczej makrocząsteczki. Wreszcie strukturę czwartorzędową określa budowa obszarów składających się z powiązanych ze sobą fragmentów makrocząsteczek.

Biorąc pod uwagę specyficzne szczegóły budowy białek wynikające z występowania w nich wielopoziomowości struktur, celowe wydaje się charakteryzowanie indywidualne poszczególnych polipeptydów, stanowiących tworzywo najważniejszych włókien białkowych.



Keratyna - białko będące tworzywem wełny owczej. Polipeptyd zbudowany jest z 19 reszt α - aminokwasów, których udział we włóknie jest różny w zależności od rasy owiec, czasu strzyży, warunków hodowli. Stosunkowo duży udział cystyny (8-16%) sprawia, że keratyna odznacza się, w porównaniu z innymi białkami, dość dużą zawartością siarki (3-5%). Makrocząsteczka keratyny może występować w postaci konformacyjnej helikoidalnej (α -keratyna) lub rektalnej (β -keratyna). Podstawowym zespołem makrocząsteczek jest protofibryla o strukturze trójspiralnej. Połączone ze sobą protofibryle tworzą mikrofibryle, a te z kolei łącząc się dają makrofibryle.

Fibroina* - białko będące podstawowym składnikiem jedwabiu naturalnego (70-80%). Fibroina składa się głównie, bo w 90%, z reszt: glicyny, alaniny, seryny i tyrozyny. Przy tym, w makrocząsteczce co druga reszta aminokwasowa jest resztą glicyny. Łańcuch polipeptydowy występuje w postaci tzw. spirali β . Maksymalne rozciągnięcie takiej spirali prowadzi do utworzenia zygzakowatej postaci konformacyjnej - tzw. rektalnej. Spirale β fibroiny rozmieszczone są względem siebie równolegle lub antyrównolegle. Poszczególne łańcuchy połączone są wiązaniami wodorowymi.

Serycyna - białko to, stanowiące 20-30% masy włókna, jest obok fibroiny drugim składnikiem tworzywa jedwabiu naturalnego. Pod względem składu chemicznego odróżnia się od fibroiny tym, że zawiera cystynę oraz znacznie większą ilość seryny. Łańcuchy makrocząsteczek, które są około dwa razy krótsze niż łańcuchy fibroiny, występują w postaci konformacyjnej globularnej. W związku z tym serycyna jest białkiem niekryształicznym.

Kazeina - białko należące do grupy białek złożonych - proteidów**. Polipeptydy tego typu zawierają oprócz składników białkowych również składnik niebiałkowy. W przypadku kazeiny są to reszty kwasu fosforowego. Natomiast składnik białkowy kazeiny tworzą α - aminokwasy ze względnie dużymi przestrzennymi odgałęzzeniami bocznymi, m.in. prolina. Jest to powodem występowania w tworzywie tylko niewielkich sił przyciągania międzycząsteczkowego. Fakt ten umożliwia więc wielu makrocząsteczkom przyjmowanie postaci globularnej.

* Używana jest również nazwa „fibroin”.

** Białka wymienione poprzednio należą do grupy białek prostych - protein.



4.2. Wełna owcza

Włókno wełny owczej - twór wielokomórkowy - stanowi zestrzyżoną, ponadskórną część włosa wchodzącego w skład ochronnej okrywy włosowej zwierzęcia.

Długość włókna może zawierać się w szerokim przedziale wartości: 50-400 mm, w zależności od rasy zwierzęcia oraz od lokalizacji włosa w runie. Grubość włókna mieści się w granicach 18-120 μm . Zróżnicowanie grubości włókna wiąże się głównie z rasą zwierzęcia oraz budową anatomiczną włosa.

Wewnętrzna budowę włókna wełny owczej cechuje niejednorodność. Komórki tworzące włókno wykazują wyraźne zróżnicowanie pod względem kształtu, budowy i własności. Komórki określonego typu skupione są we włóknie w taki sposób, że tworzą oddzielne, specyficzne jego części składowe. Takimi częściami składowymi włókna wełnianego są: naskórek (kutikula, epidermikul) - warstwa zewnętrzna o niewielkiej grubości (0,5-1 μm), kora (kortex) - warstwa wypełniająca praktycznie niemal całą objętość włókna, rdzeń (medulla) - część centralna włókna, która występuje tylko we włosach określonego rodzaju (rdzeniowych).

Naskórek. Jest to zespół komórek, które wyróżniają się charakterystyczną łuskowatą postacią. Kształt, wielkość i sposób zachodzenia łusek na siebie są różne, w zależności głównie od rasy zwierzęcia. Podstawowe dwa typy łusek to dachówkowate i pierścieniowe, o obrzeżach prostych, ząbkowanych lub falistych. Komórka kutikuli - łuska wykazuje złożoną budowę warstwową. W komórce takiej występuje cienka warstewka zewnętrzna, tzw. epikutikula, warstwa środkowa - egzokutikula oraz trzecia warstwa - endokutikula. Poszczególne warstwy różnią się pod względem budowy. Epikutikulę tworzy substancja białkowa składająca się w większości z α -aminokwasów o małej aktywności chemicznej. Ponadto, fizykochemiczna budowa makrocząsteczki tego białka różni się od analogicznej budowy pelipeptydu keratyny - białka, z którego zbudowane są dwie pozostałe warstwy kutikuli. Przy tym, egzokutikula utworzona jest z keratyny niekrystalicznej, a endokutikula jest zbudowana z białka w wysokim stopniu krystalicznego. Specyfika budowy poszczególnych warstw znajduje swoje odzwierciedlenie w ich cechach fizycznych i chemicznych. Z punktu widzenia tych własności, epikutikula stanowi hydrofobową warstwę odznaczającą się wysokim stopniem sprężystości, małą wartością współczynnika tarcia powierzchniowego, wysoką odpornością chemiczną. Egzokutikula, jako utworzona



z białka niekrystalicznego, charakteryzuje się niską odpornością chemiczną. Natomiast endokutikula stanowi część łuski o stosunkowo dużej odporności chemicznej.

Kora. Jest to zespół komórek, stanowiący podstawową część włókna, tym samym decyduje on o całości jego własności fizycznych i chemicznych. Na ogół, komórki kory różnicują się na dwa rodzaje - na komórki tzw. ortokorowe i parakorowe. Występują one względem siebie najczęściej w specyficznym układzie, tworząc we włóknie wełny owczej dwa spiralne, zespolone ze sobą półwalce. Taki system rozmieszczenia wzajemnego komórek orto- i parakorowych nazywany jest asymetrią bilateralną. Asymetryczny rozkład komórek tworzących korę jest powodem skarbikowania włókna. Jak stwierdzono, komórki ortokorowe występują w części zewnętrznej karbika, komórki parakorowe - w części wewnętrznej karbika.

Komórki orto- i parakorowe różnią się budową cytologiczną i składem chemicznym keratyny, z której są zbudowane.

Z punktu widzenia budowy cytologicznej, podstawowe różnice dotyczą stopnia upakowania elementów tworzących komórkę, tj. makrocząsteczek, mikro- i makrofibryl. Ogólnie, gęstość części ortokorowej włókna jest niższa niż części parakorowej. Z punktu widzenia budowy chemicznej, komórki orto- i parakorowe różnią się zawartością cystyny w keratynie. W keratynie tworzącej komórki ortokorowe udział cystyny jest mniejszy. Wymienione fakty sprawiają, że część ortokorowa włókna wełny wykazuje niższą orientację oraz jest słabiej ustabilizowana mostkami dwusiarczkowymi, niż część parakorowa. Konsekwencją tych faktów jest niższa anizotropowość optyczna ortokory oraz niższa jej odporność na działanie odczynników spęczniających (np. NaOH).

Rdzeń. Jest to warstwa dużych cienkościennych komórek wypełnionych powietrzem, których tworzywem jest keratyna. Rdzeń występuje z reguły we włóknach grubszych, które ze względu na jego obecność nazywane są włóknami rdzeniowymi. Komórki rdzenia mogą być skupione w różny sposób. Tak więc, mogą tworzyć warstwę centralną włókna rozmieszczoną na całej jego długości lub mogą występować w skupiskach rozmieszczonych fragmentarycznie na długości włókna (włókna przejściowe). Przy pierwszym systemie skupienia, komórki rdzenia mogą stanowić nawet 70-90% objętości całego włókna. W takim przypadku włókna nazywane są martwymi.

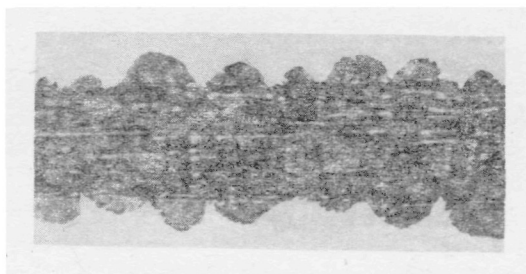
Wypełnienie komórek rdzenia powietrzem sprawia, że warstwa rdzeniowa charakteryzuje się odmiennymi własnościami optycznymi, niż warstwa korowa. Jest to wyraźnie widoczne w czasie obserwacji mikro-



skopowych włókna. W obrazie mikroskopowym rdzeń ujawnia się jako wyraźnie ciemniejsza część składowa tego obrazu.

4.2.1. Wizualizacja mikroskopowa szczegółów budowy wewnętrznej włókna wełny

Budowę warstwową kutikuli potwierdza wynik doświadczenia polegającego na wykonaniu tzw. reakcji Allwördena. Eksperyment polega na działaniu na włókno wełny odczynnikami zawierającym czynny chlor, np. woda chlorowa lub NaOCl . Pod wpływem działania odczynnika następuje oddzielenie się epikutikuli od podłoża na skutek rozkładu tworzywa egzokutikuli. W obrazie mikroskopowym, na powierzchni włókna pojawiają się charakterystyczne wyoblenia - pęcherzyki (rys. 22). Postać tę przyjmuje epikutikula poszczególnych łusek. Charakterystyczne wyoblenie epikutikuli jest rezultatem oddzielenia jej od podłoża i rozepchnięcia przez parcie na nią ciekłych produktów reakcji substancji białkowej egzokutikuli z odczynnikiem. Szybkość powstawania pęcherzyków, ich ilość i wielkość, uzależnione są od stężenia czynnego chloru w odczynniku, od czasu jego działania oraz odczynu (pH) włókna.

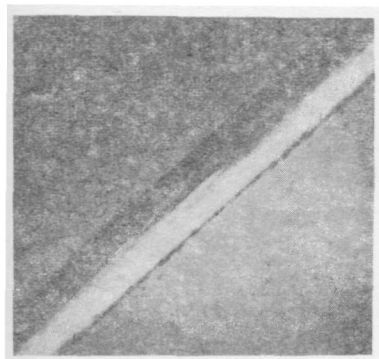


Rys. 22. Włókno wełny pod działaniem odczynnika w reakcji Allwördena

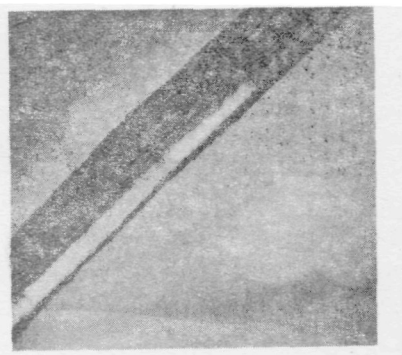
Asymetryczna budowa bilateralna kory włókna wełnianego ujawnia się w czasie obserwacji mikroskopowej - w świetle spolaryzowanym - włókna spęcznianego 2-normalnym wodnym roztworem NaOH . Obserwację należy prowadzić przy użyciu gipsowej płytki kompensacyjnej - czerwien II rzędu - przy której pole widzenia w mikroskopie przybiera barwę czerwoną. Przy takich warunkach obserwacji, włókna - zarówno

część ortokorowa jak i parakorowa - wykazują własną różną od barwy czerwonej tła barwę interferencyjną. Część ortokorowa ze względu na słabsze upakowanie i uporządkowanie elementów strukturalnych charakteryzuje się barwą interferencyjną niższego rzędu od barwy interferencyjnej części parakorowej.

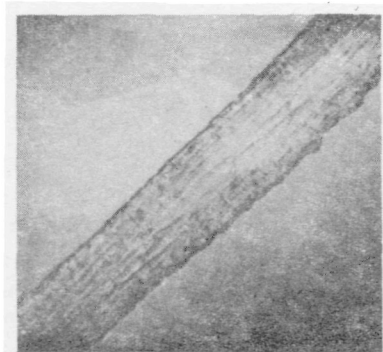
W miarę czasu działania odczynnika, ortokora szybciej ztraca cechy anizotropowe niż parakora, i w związku z tym prędkiej przybiera czerwoną barwę tła niż parakora (rys. 23).



b)



c)



Rys. 23. Włókno wełny pod działaniem odczynnika spęczniającego ($2n \text{ NaOH}$), obserwowane w świetle spolaryzowanym a, b, c - zmiany obrazu włókna zachodzące w miarę upływu czasu

Odmienność właściwości optycznych włókien bezrdzeniowych (puchowych) w stosunku do rdzeniowych wykorzystuje się w celu selekcji tych ostatnich, przy pomocy tzw. próby Elphicka. Test ten polega na obejrzeniu włókien wełnianych zanurzonych w benzenie. Włókna puchowe, wykazując taki sam współczynnik refrakcji jak benzen, stają się niewidoczne w cieczy. Włókna rdzeniowe, ze względu na obecność powietrza w komórkach rdzenia, odznaczają się inną wartością współczynnika załamania światła. Tym samym, zanurzone w benzenie są one wyraźnie widoczne.

4.2.2. Obraz mikroskopowy włókien wełny owczej

W widoku wzdłużnym włókno wełny owczej ma kształt cylindryczny. Powierzchnia włókna pokryta jest łuskami. W środkowej części obrazu włókna może występować zarys rdzenia w postaci ciemnej, ciągłej lub przerywanej smugi.

Kształt przekroju poprzecznego włókna wełny jest zbliżony do koła lub eliptyczny, wewnątrz z rdzeniem lub bez rdzenia.

4.2.3. Zarys podstawowych własności chemicznych wełny

Własności chemiczne włókna wełny określone są właściwościami jego tworzywa - keratyny. Ogólnie, cechą charakterystyczną wełny jest stosunkowo wysoka odporność na działanie kwasów. Efekty destrukcji włókna ujawniają się dopiero przy działaniu kwasami silnie stężonymi w podwyższonej temperaturze. Włókno wełny jest również odporne na działanie rozpuszczalników organicznych. Natomiast odznacza się dużą wrażliwością na działanie związków o charakterze zasadowym. Alkalia już w temperaturze pokojowej powodują silne pęcznienie włókna, a w temperaturze powyżej 80°C rozpuszczają je. Intensywność procesu pęcznienia i rozpuszczania włókna zależy od rodzaju alkaliów, stężenia, temperatury oddziaływania. Na przykład, 5% roztwór wodny wodorotlenku sodu działa na włókno spęczniając w temperaturze pokojowej, a w temperaturze około 80°C rozpuszcza włókno całkowicie w czasie kilku zaledwie minut.



4.2.4. Zasadnicze kryterium identyfikacji

Podstawowym kryterium identyfikacji włókna wełny owczej jest obraz mikroskopowy widoku wzdłużnego tego włókna.

4.3. Jedwab naturalny

Jedwab naturalny wytwarzany jest przez gąsiennice określonych rodzajów motyli (*Bombycidae*, *Saturniidae*) - jedwabników. Największe znaczenie praktyczne ma jedwab tzw. prawdziwy, uzyskiwany w hodowli jedwabnika morwowego (*Bombyx mori*).

Włókna jedwabiu są produktem wydzielania gruczołów przędnych gąsiennicy. Dwie strużki koloidalnej cieczy, po wydostaniu się z gruczołów przędnych na zewnątrz przez jeden otwór (kędzielnik), krzepną i zespalają się ze sobą. Powstający w ten sposób jedwab surowy służy gąsiennicy do zbudowania wokół siebie oprzędu. Oprzęd z zamkniętą wewnątrz gąsiennicą nosi nazwę kokonu.

Wyjściowa postać włókna - jedwab surowy - składa się z dwu fibroinowych nitek zlepionych ze sobą i oklejonych na powierzchni lepiszczem - seryciną. Pojedyncze włókno nie wykazuje budowy komórkowej, co odróżnia je od wszystkich pozostałych włókien naturalnych. Długość włókna jedwabiu zawiera się w granicach 500-3000 m, a grubość - $15 \div 30 \mu\text{m}$.

Rozmotywanie jedwabiu surowego wiąże się z obróbką kokonów gorącą wodą. W tych warunkach część serycyny ulega rozpuszczeniu. Pozostała serycyna zspala kilka lub kilkanaście fibroinowych nitek, pochodzących z różnych kokonów, złączonych ze sobą w procesie rozmotywania. Powstaje w ten sposób wyjściowy produkt przędzalniczy noszący nazwę greży.

4.3.1. Obraz mikroskopowy włókien jedwabiu naturalnego

W widoku wzdłużnym jedwab surowy przedstawia sobą dwa włókienka sklejone seryciną. Serycyna jest rozmieszczona nierównomiernie na powierzchni włókien, tworząc w niektórych miejscach charakterystyczne zgrubienia.

Włókna pozbawione serycyny - jedwab odgotowany - zaznacza się w widoku wzdłużnym dwiema równoległymi liniami bez występowania jakichkolwiek cech charakterystycznych.



Kształt przekroju poprzecznego włókien jedwabiu naturalnego zbliżony jest do trójkątnego z zaokrąglonymi wierzchołkami.

4.3.2. Zarys podstawowych własności chemicznych

Działanie alkaliów na jedwab jest na ogół mniej drastyczne niż ich działanie na wełnę. Na zimno, rozcieńczone roztwory ługów rozpuszczając serycynę nie działają na fibroinę. Na gorąco natomiast, włókna jedwabiu łatwo rozpuszczają się już w 5% roztworze NaOH.

Rozpuszczalniki organiczne nie działają na włókno jedwabiu naturalnego. Podobnie nie działają również kwasy organiczne o małym stężeniu. Natomiast kwasy mineralne silnie stężone, na gorąco, bardzo szybko niszczą włókno całkowicie.

4.3.3. Zasadnicze kryterium identyfikacji

Podstawowym kryterium identyfikacji jedwabiu naturalnego może być rozpuszczalność włókien zarówno w 5% roztworze NaOH (na gorąco) jak i w Cuoxamie. Specyficzny kształt przekroju poprzecznego włókien potwierdza poprawność rozpoznania.

4.4. Włókna kazeinowe

Włókno kazeinowe jest to takie włókno, którego tworzywem jest kazeina - białko uzyskiwane z mleka.

Formowanie włókien kazeinowych odbywa się z „roztworu na mokro”. Roztwór przędzalniczy powstaje w wyniku rozpuszczenia kazeiny w rozcieńczonym roztworze wodorotlenku sodowego.

Głównymi składnikami kąpieli koagulacyjnej są: kwas siarkowy, siarczan sodowy, a często również siarczan glinowy.

Obrazy mikroskopowe włókien kazeinowych nie odznaczają się żadnymi charakterystycznymi szczegółami. W widoku wzdłużnym, powierzchnia włókna jest bez rys lub jedynie tylko z drobnymi delikatnymi skazami. Kształt przekroju poprzecznego jest okrągły lub owalny, czasami z lekkim wgłębieniem.

Własności chemiczne włókien kazeinowych są określone rodzajem i budową ich białkowego tworzywa. Włókna kazeinowe są bardzo wrażliwe na działanie alkaliów, które łatwo rozpuszczają włókna w podwyższonej



temperaturze. Natomiast kwasy organiczne nie działają na włókna nawet w podwyższonej temperaturze. Z kolei kwasy nieorganiczne, nawet rozcieńczone, uszkadzają włókno, przy czym to działanie destrukcyjne potęguje się ze wzrostem temperatury.

Zasadnicze kryterium identyfikacji włókien kazeinowych stanowi ich rozpuszczalność w 5% roztworze wodorotlenku sodowego na gorąco, w połączeniu z brakiem charakterystycznych szczegółów widoku wzdłużnego i przekroju poprzecznego tych włókien.

LITERATURA

- [1] Pod red. В. А. К а р г и н а: *Энциклопедия полимеров. Советская энциклопедия*, Москва 1972, т. I, с. 246.
- [2] U r b a i ń s z y k G. W.: *Nauka o włóknie*. PŁ. Łódź 1978, т. II.
- [3] Р у б и н о в и д р.: *Учение о шелке и кокомотание. Легкая Индустрия*. Москва 1966.
- [4] А л е к с а н д е р Р. А., Х у д с о н Р.: *Физика и Химия шерсти. ГНТИЛ - Легкая Промышленность*, Москва 1958.



5. WŁÓKNA CELULOZOWE

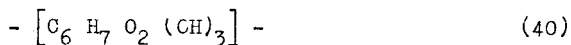
Włóknami celulozowymi nazywane są te wszystkie włókna, których tworzywem jest celuloza - polimer naturalny pochodzenia roślinnego.

W konwencji podziału systematycznego należy wyodrębnić dwa zasadniczo odmienne rodzaje włókien celulozowych: naturalne włókna roślinne i włókna sztuczne. Zwykle włókna roślinne dzieli się jeszcze bardziej szczegółowo, przyjmując jako kryterium wybraną cechę tych włókien. Odpowiednie kryterium stanowić może np. pochodzenie włókna z określonej części rośliny. W układzie klasyfikacyjnym, który powstaje przy użyciu takiego właśnie kryterium, włókna roślinne dzieli się na nasienne (bawełna), łodygowe (len, juta, ramia), liściowe (sizał), owocowe (kokosowe).

5.1. Tworzywo włókien

Podstawowym tworzywem omawianych włókien jest celuloza - wielko-cząsteczkowy związek organiczny. Węglowodan ten powstaje w zielonych częściach roślin jako produkt biosyntezy. Stanowi on główny składnik ścianek komórkowych wszystkich wyższego rzędu organizmów roślinnych. Celuloza występuje również w niektórych roślinach najprostszych, np. w glonach morskich (*Valonia ventricosa*). Znane są też przypadki wytwarzania celulozy przez niektóre bakterie (*Acetobacter xylinum*) oraz organizmy zwierzęce typu strunowców (*Tunicata*).

Celuloza niezależnie od swojego pochodzenia: roślinnego, bakteriynego, zwierzęcego jest zawsze jednym i tym samym związkiem o identycznej w każdym przypadku budowie chemicznej. Budowę tę określa sumaryczny wzór - odzwierciedlający jakościowy i ilościowy skład atomowy ogniwa merowego:



Występowanie w każdym ogniwie merowym trzech grup hydroksylowych nadaje celulozie charakter alkoholu wielowodorotlenowego i decyduje o silnej aktywności chemicznej tego polimeru. Aktywność chemiczna ce-

lulozy przejawia się w możliwości stosunkowo łatwego jej reagowania z szeregiem różnorodnych związków chemicznych. Najistotniejsze z punktu widzenia włókienniczego są reakcje celulozy z amoniakiem i jego związkami oraz z wodorotlenkami metali alkalicznych i metalicznych pierwiastków wielowartościowych.

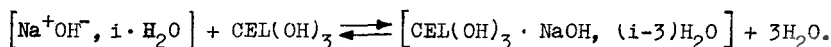
5.2. Merceryzacja celulozy

Spośród wodorotlenków metali alkalicznych największe znaczenie z punktu widzenia wytwarzania i uszlachetniania włókien celulozowych ma wodorotlenek sodowy - NaOH. Oddziaływanie wodnego roztworu tego wodorotlenku na celulozę nosi ogólną nazwę procesu merceryzacji. Proces taki, przy doborze odpowiednich warunków (stężenie ługu, temperatura, stan naprężenia włókna), stosuje się w celu uszlachetnienia przędz i wyrobów bawełnianych. Merceryzacja stanowi również wstępny etap procesu technologicznego wytwarzania włókien wiskozowych. Ważność wymienionych względów praktycznych uzasadnia potrzebę bliższego poznania przemian, którym podlegają włókna celulozowe podczas merceryzacji.

5.2.1. Chemiczny efekt merceryzacji

Stwierdzić można najogólniej, że chemicznym efektem oddziaływania na celulozę odpowiednio stężonych roztworów ługu sodowego jest powstawanie nowego związku chemicznego - alkalicelulozy. Alkaliceluloza tworzona jest w wyniku chemicznego powiązania cząsteczek NaOH z grupami hydroksylowymi celulozy. Jednak aktualnie nie rozstrzygniętym problemem pozostaje charakter wspomnianego wiązania. Według współczesnych poglądów na ten temat powiązanie cząsteczek NaOH z celulozą zachodzić może alternatywnie według jednego z dwóch mechanizmów - mechanizmu przyłączenia lub mechanizmu podstawienia.

Podobnie jak charakter wiązania, niepewna jest również ocena ilości cząsteczek NaOH związanych w alkalicelulozie. Powszechnie, jako najbardziej prawdopodobny, uznawany jest mechanizm, określony następującym równaniem:



Alkaliceluloza jest związkiem nietrwałym. Pod działaniem wody przechodzi w hydratocelulozę, a po usunięciu wody - w celulozę regenerowaną.

Możliwość tworzenia alkaliceulozy uzależniona jest ściśle od warunków procesu merceryzacji. Obok takich podstawowych parametrów jak stężenie ługu sodowego w roztworze i temperatura procesu, decydujące znaczenie ma również specyfika obrabianej masy celulozowej. W przypadku włókien, wspomniana specyfika wynika bezpośrednio z ich cech biologicznych, morfologii włókien, struktury nadmolekularnej ich tworzywa. Zróżnicowanie wymienionych cech, obserwowane dla poszczególnych rodzajów włókien celulozowych, sprawia, że w identycznych warunkach procesu merceryzacji ilość powstającej alkaliceulozy jest różna dla różnych włókien. W nieco innym ujęciu oznacza to, że dla określonego rodzaju włókna istnieje pewna minimalna wartość stężenia NaOH, od której poczynając rozpoczyna się reakcja tworzenia alkaliceulozy. Na przykład, taką najniższą wartością stężenia ługu jest dla bawełny - 17%, dla ramii - 12%, dla jedwabiu wiskozowego - 8,5%.

5.2.2. Przemiana polimorficzna struktury krystalicznej

W procesie merceryzacji, równocześnie z przemianą chemiczną, następuje przebudowa elementów struktury krystalicznej celulozy. Przemiana struktury polega na zmianie parametrów komórki elementarnej - podstawowej jednostki budowy obszarów krystalicznych. Zmiana wymiarów komórki zachodzi przy zachowaniu jednoskośnego układu krystalograficznego, który charakterystyczny jest dla celulozy natywnej, alkaliceulozy i celulozy regenerowanej. Jakość i wielkość wspomnianych zmian wymiarów są uzależnione ściśle od warunków merceryzacji, a w szczególności od stężenia NaOH i temperatury procesu.

Różnicując odpowiednio te dwa parametry, można uzyskać różne polimorficzne odmiany struktury krystalicznej alkaliceulozy (modyfikacje I, II, III, IV, V, Q).

5.2.3. Zmiana makrostruktury włókna

Procesowi merceryzacji włókien celulozowych, oprócz przemiany chemicznej i strukturalnej, towarzyszy również zmiana makroskopowej postaci włókna.



Transformacja postaci związana jest ze zmianami wymiarów włókna, które następują w wyniku jego pęcznienia. Włókno pęcznieje w następstwie wnikania cząsteczek NaOH w obszary tworzywa niekryształicznego (proces interkryształiczny) lub wnikania w obręb obszarów kryształicznych (proces intrakryształiczny).

Inter- lub intrakryształiczny mechanizm pęcznienia uwarunkowany jest przede wszystkim wartością stężenia NaOH. Ogólnie przyjmuje się, że pęcznienie w warunkach działania ługu sodowego o stężeniu mniejszym niż 12% ma charakter interkryształiczny, przy stężeniu większym niż 12% - intrakryształiczny.

Anizotropowy charakter włókien sprawia, że zmiany poszczególnych ich wymiarów spowodowane pęcznieniem są niejednakowe. Przyrost wymiaru poprzecznego jest większy niż zmiana długości włókna. Zjawisko to nosi nazwę anizotropii pęcznienia.

Pęcznienie włókna w sposób ilościowy można scharakteryzować za pomocą odpowiednich wskaźników. Jednym z nich jest stopień spęcznienia poprzecznego, określony wzorem

$$S_D = \frac{D - E}{E} \cdot 100 [\%], \quad (42)$$

gdzie D i E - maksymalny wymiar poprzeczny włókna, odpowiednio: spęcznionego i wyjściowego.

Stopień spęcznienia włókien celulozowych w procesie merceryzacji jest zdeterminowany głównie warunkami ich obróbki. Decydujące znaczenie ma tutaj temperatura merceryzacji i stężenie ługu. Ogólnie, obniżenie temperatury przyczynia się do zwiększenia wartości stopnia spęcznienia włókna. Wpływ stężenia natomiast najlepiej ilustruje obraz graficzny w postaci krzywej, która wyraża zależność $S_D = f(C_{NaOH})$ pomiędzy stopniem spęcznienia, a stężeniem ługu w roztworze. Charakterystyczną cechą tego typu wykresów jest osiąganie przez krzywą maksimum odpowiadającego określonej wartości stężenia. Najostrzej zarysowane są maksima krzywych wyznaczonych dla celulozy regenerowanej; mniejsze zróżnicowanie stopnia spęcznienia, odpowiadającego poszczególnym wartościom stężenia, obserwuje się w przypadku celulozy natywnej.

Lokalizacja maksimum krzywej na wykresie zależy wprawdzie od temperatury obróbki ługiem, ale przede wszystkim zależy od charakteru obiektu poddanego merceryzacji. Ogólnie, im wyższa temperatura, tym niższe stężenie NaOH, przy którym osiągane jest maksymalne pęcznienie danego rodzaju włókna.



Charakter merceryzowanego obiektu zależy przede wszystkim od tego czy jest on utworzony z celulozy natywnej, czy regenerowanej oraz od kształtu obiektu (arkusze, włókna). W konkretnym przypadku włókien, ich charakter określają takie parametry jak rodzaj powierzchni włókna, dostępność tworzywa dla reagenta, stopień polimeryzacji celulozy. Każdy z wymienionych czynników wpływa w określonym, mniejszym lub większym stopniu na lokalizację maksimum krzywej na wspomnianym wykresie. Zróżnicowanie wymienionych cech dla różnych włókien celulozowych sprawia, że efektywność ich wypadkowego oddziaływania jest różna dla poszczególnych włókien. Zatem, dla poszczególnych rodzajów włókien celulozowych różne są wartości stężenia NaOH, przy których następuje maksymalne pęcznienie. Orientacyjnie, najwyższa wartość wspomnianego stężenia jest charakterystyczna dla bawełny, niższa - dla ramii, najniższa dla włókien wiskozowych. Wartości te, w temp. 25°C, wynoszą odpowiednio 18, 14-15, 9,5-10%.

Poza efektem spęcznienia w procesie merceryzacji włókien, zmiana makrostruktury dotyczyć może zmiany kształtu włókna oraz charakteru jego powierzchni, a co za tym idzie sposobu reflektowania światła przez włókno. Zmiany te szczególnie silnie ujawniają się w przypadku włókien bawełny. Włókno merceryzowane pozbawione zostaje skrętów, przyjmując kształt cylindryczny. Konsekwencją tych faktów jest zwiększenie składowej odbicia kierunkowego światła od powierzchni włókna, co zostaje odbierane wzrokowo jako zwiększenie połysku włókna.

5.3. Specjalne rozpuszczalniki celulozy

Jak już wspomniano, z punktu widzenia obróbki chemicznej celulozy podobnie duże znaczenie praktyczne jak NaOH mają wodorotlenki niektórych metalicznych pierwiastków wielowartościowych. W szczególności odnosi się to do miedzi, kadmu, niklu, cynku, kobaltu. Wodorotlenki tych metali mają zdolność tworzenia związków kompleksowych, między innymi z amoniakiem (NH_3) i etylenodwuaminą $[\text{H}_2\text{N} \cdot (\text{CH}_2)_2 \cdot \text{NH}_2]$. Efektem oddziaływania takich kompleksów na celulozę jest jej rozpuszczanie. Wspomniane związki kompleksowe znajdują więc szerokie zastosowanie jako rozpuszczalniki celulozy. Biorąc pod uwagę, że celuloza jest z natury ciałem trudno rozpuszczalnym oraz uwzględniając specyficzny charakter chemiczny tych rozpuszczalników, nazwano je specjalnymi.

Podstawową grupę specjalnych rozpuszczalników celulozy tworzą dwa odrębne szeregi związków kompleksowych. Do jednego szeregu należą



związki utworzone z amoniakiem, do drugiego - z etylenodwuaminą. Przynależność do określonego szeregu znajduje swoje odzwierciedlenie w nomenklaturze omawianego typu rozpuszczalników. Przyjmowana tradycyjnie umowna nazwa każdego z nich powstaje w wyniku złożenia trzech podstawowych członów. Pierwszy z nich charakteryzuje centralny jon tworzonego kompleksu, a więc metalu, np. Cu - miedzi, Ni - niklu, Cd - kadmu, Co - kobaltu itp. Następne dwa człony określają, w kolejności: wodorotlenek - OX i szereg amoniaku - AM lub szereg etylenodwuaminy - EN. Tak więc, nazwy rozpuszczalników charakterystycznych dla szeregu amoniaku to m.in.: CUOXAM, NIOXAM, a dla szeregu etylenodwuaminy: CUOXEN, NIOXEN, CADOXEN, COOXEN itp.

Największe znaczenie praktyczne w zastosowaniu do włókien celulozowych mają CUOXAM i CADOXEN.

Cuoxam $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_n](\text{OH})_2$ jest to amoniakalny roztwór wodorotlenku miedziowego. Rozpuszczalnik ten, o barwie intensywnie niebieskiej, zwany potocznie odczynnikiem Schweitzera służy niekiedy do rozpuszczania celulozy w procesie wytwarzania włókien sztucznych, tzw. miedziowych.

Cadoxen $[\text{Cd}(\text{H}_2\text{N} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{NH}_2)_3](\text{OH})_2$ jest to etylenodwuaminowy roztwór wodorotlenku kadmowego. Jako rozpuszczalnik bezbarwny znajduje szerokie zastosowanie w badaniach roztworów celulozy, szczególnie metodami optycznymi.

Do grupy specjalnych rozpuszczalników celulozy zalicza się również związek o nazwie EWN (nomenklatura niemiecka) lub FeTNa. Rozpuszczalnik ten o wzorze chemicznym $[\text{Fe}(\text{III})(\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_6)_3]\text{Na}_6$ jest alkalicznym w NaOH roztworem związku kompleksowego żelaza z winianem sodowym. FeTNa znajduje zastosowanie przy wiskozymetrycznej ocenie średniej masy cząsteczkowej celulozy.

5.4. Włókno bawełny

Włókno bawełny jest pojedynczą komórką roślinną. Przedstawia ono kapilarną rurkę (orientacyjna długość: 10 - 50 mm, a wymiar poprzeczny: 15-30 μm), której podstawowa część składowa - ścianka wtórna składa się z wielu warstw celulozy i otoczona jest z zewnątrz ścianką pierwotną.

Włókno bawełny uzyskiwane jest z rośliny zwanej bawełnicą (*Gossypium*). Wzrost włókna rozpoczyna się od chwili przekwitnięcia kwiatów bawełnicy. W okresie pierwszych 25-30 dni włókno rośnie wzdłuż, osiągając w końcu wymienionego okresu długość średnio około 20-30 mm.



W tym czasie celulozowa ścianka włókna przyrasta tylko nieznacznie osiągając grubość około 0,8-1,0 μm . Głównym etapem jej przyrostu jest dopiero drugi etap rozwoju włókna. Ma on miejsce w czasie następnych, kolejnych 35-40 dni wzrostu rośliny. Wówczas, grubość ścianki wtórnej ciągle zwiększa się osiągając w dojrzałym 60-70 dniowym włóknie, grubość 6-7 μm .

Grubość ścianki wtórnej różni się znacznie dla poszczególnych włókien bawełny. Podstawowymi czynnikami, które wpływają na to zróżnicowanie są: warunki agrotechniczne oraz klimatyczne uprawy rośliny i długości okresu jej dojrzewania.

Zróżnicowanie grubości ścianki wtórnej poszczególnych włókien występuje również w obrębie jednego tylko krzewu. W tym przypadku, różnice w rozwoju włókien wynikają z różnej ilości i jakości uzyskiwanych substancji odżywczych. Wiąże się to bezpośrednio z lokalizacją torebek nasiennych na krzewie bawełnicy, miejscem nasion w torebce, usytuowaniem danego włókna względem innych włókien porastających to samo ziarno. W sumie, w wyniku różnej dojrzałości różna jest grubość celulozowej ścianki wtórnej włókna bawełny.

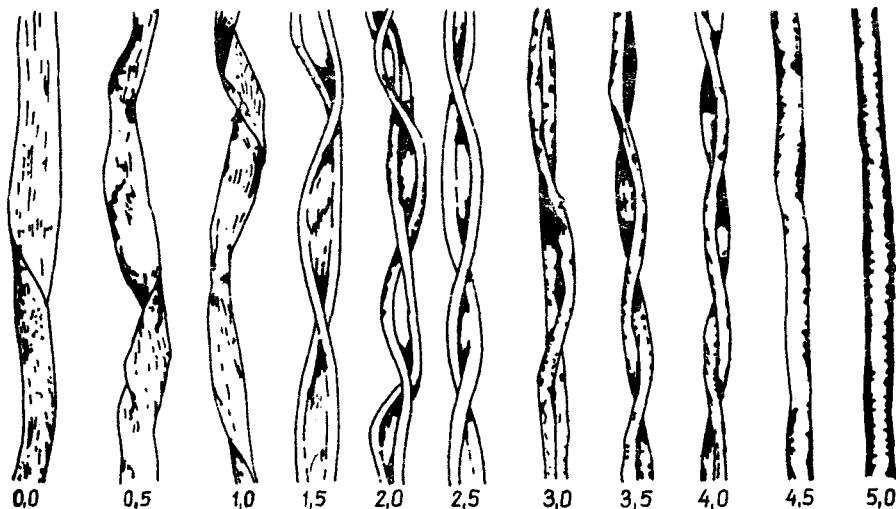
Z grubością ścianki wtórnej pozostają w ścisłym związku własności bawełny jako surowca włókienniczego, a szczególnie takie jak wytrzymałość, higroskopijność, wybarwialność włókien. Z istnienia tej zależności wynika duże znaczenie jakie posiada w praktyce umiejętność oceny stopnia dojrzałości bawełny. Należy podkreślić, że wśród wielu metod oceny tego wskaźnika największe znaczenie praktyczne mają metody polegające na badaniach mikroskopowych, a wśród nich metoda bezpośrednich obserwacji włókien i metoda obserwacji włókien w świetle spolaryzowanym.

5.4.1. Obraz mikroskopowy włókien

Obraz mikroskopowy widoku wzdłużnego włókna bawełny jest bardzo charakterystyczny. W widoku wzdłużnym włókno ma kształt wstążeczki spiralnie skręconej w skręty o zmiennych kierunkach. Ilość skrętów zależy od stopnia dojrzałości włókna. Włókna najmniej dojrzałe (marte) i najbardziej dojrzałe (przejrzałe) niemal wcale nie mają skrętów. Natomiast największą ilością skrętów, rozmieszczonych równomiernie na długości włókna, odznacza się bawełna niezupełnie dojrzała i dojrzała (rys. 24).



Kształt przekroju poprzecznego bawełny wynika z „tasiemkowatej” postaci włókna. W przekroju poprzecznym włókno ma kształt zbliżony do fasoli. Spłaszczenie „fasolkowatego” kształtu jest różne, w zależności od grubości ścianki wtórnej. Podobnie różna dla różnie dojrzałych włókien jest wielkość kanału widocznego w przekroju poprzecznym.



Rys. 24. Włókna bawełny o różnym stopniu dojrzałości

5.4.2. Zarys podstawowych własności chemicznych

Ogólnie, własności chemiczne bawełny determinowane są właściwościami podstawowego składnika włókna-celulozy (95-97% całkowitej masy włókna). Włókno bawełny odznacza się więc dużą odpornością chemiczną. W środowisku alkalicznym bawełna nie rozpuszcza się, jedynie pęcznieje w stopniu zależnym głównie od stężenia alkaliów. Włókno nie rozpuszcza się również w rozpuszczalnikach organicznych. Natomiast kwasy mineralne (siarkowy, solny, fosforowy), silnie stężone, powodują całkowite zniszczenie włókna w wyniku degradacji celulozy. Bawełna rozpuszcza się bez degradacji jedynie w rozpuszczalnikach specjalnych. Przy tym sposób rozpuszczania włókien w Cuoxamie jest tak charakterystyczny, że wymaga odrębnego omówienia.



5.4.2.1. Rozpuszczanie bawełny surowej w Cuoxamie

Pod wpływem Cuoxamu, w pierwszej chwili następuje gwałtowne rozkręcanie włókna, a następnie silne pęcznienie jego ścianki wtórnej. Nacisk spowodowany pęcznieniem ścianki wtórnej powoduje pękanie ścianki pierwotnej. Pękanie to następuje w kierunku obwodowym włókna, a pęknięcia rozmieszczone są w wielu miejscach na jego długości. W ten sposób ścianka pierwotna podzielona zostaje na wiele części o postaci pierścieni. W miejscach między tymi pierścieniami, pęczniącymi masa celulozowa jest wypychana na zewnątrz, gdzie tworzy charakterystyczne wybrzuszenia "bąble". W takim stanie obraz włókna przypomina sznurak paciorków. Proces tworzenia "bąbli" zachodzi bardzo szybko. Również, bardzo szybko "bąble" zwiększają swoją objętość aż do całkowitego rozpuszczenia włókna.

Opisane efekty, które towarzyszą rozpuszczaniu bawełny surowej w Cuoxamie, powstają w wyniku różnej reaktywności chemicznej poszczególnych ścianek komórkowych włókna oraz otaczającego włókno naskórka (kutikuli). Zdolność do rozpuszczania ścianki pierwotnej wraz z kutikulą jest znacznie mniejsza niż analogiczna zdolność ścianki wtórnej. Wynika to z faktu, że ścianka pierwotna zawiera znacznie więcej ($\sim 46\%$) niż ścianka wtórna ($\sim 5\%$) składników niecelulozowych w postaci białek, pektyn, wosków roślinnych. W sumie, ścianka pierwotna pęcznieje w Cuoxamie minimalnie, podczas gdy ścianka wtórna pęcznieje bardzo mocno. Różny stopień spęcznienia ścianek oraz obecność kutikuli stanowi bezpośrednią przyczynę powstawania „bąbli”.

Należy zauważyć, że inne włókna celulozowe (len, konopie) mogą niekiedy rozpuszczać się w Cuoxamie w sposób podobny do opisanego. Bowiem również ścianki komórkowe tych włókien, podobnie jak bawełny, odznaczają się różną zaołnością do pęcznienia. Efekt podobny do opisanego towarzyszy również rozpuszczaniu włókien celulozowych w Cadoxenie. Jednak tylko w przypadku bawełny surowej, rozpuszczanej w Cuoxamie, „sznur koralików” ma tak wyraźną i doskonałą postać, że jego powstawanie może być uznane za zjawisko charakterystyczne. Sprawia to, że działanie Cuoxamem traktuje się jako test służący do identyfikacji włókien bawełny.



5.4.3. Bawełna merceryzowana

W widoku wzdłużnym bawełna merceryzowana ma kształt cylindryczny. Włókno jest nieomal całkowicie pozbawione skrętów.

Kształt przekroju poprzecznego włókien jest zbliżony do koła. W przekroju poprzecznym widać mały okrągły kanał znajdujący się w środku względnie grubej ścianki wtórnej włókna.

Działanie Cuoxamem i Cadoxenem na bawełnę merceryzowaną nie wiąże się z powstawaniem żadnych charakterystycznych efektów. Włókno najpierw pęcznieje równomiernie na całej swej długości, a następnie rozpuszcza się całkowicie. Równomierność pęcznienia włókna wynika z faktu zniszczenia w procesie merceryzacji zewnętrznej warstwy wosków i tłuszczów, tzw. kutikuli.

5.4.4. Podstawowe kryterium identyfikacji

Zasadnicze kryterium identyfikacji bawełny stanowi mikroskopowy obraz widoków wzdłużnych włókien i sposób rozpuszczania włókien w Cuoxamie.

5.5. Włókno lnu

Elementarne włókno lnu jest pojedynczą komórką roślinną typu prozenchymatycznego. Końce włókna zwężone, ostro zakończone, nadają komórce wygląd wrzecionowaty. Grube ścianki komórkowe otaczają kanał wewnętrzny. Długość i grubość włókien elementarnych jest znacznie zróżnicowana, nie tylko dla różnych rodzajów surowca, ale nawet dla włókien pochodzących z tej samej rośliny.

Średnia długość włókna elementarnego wynosi 17-20 mm, a średnia grubość 12-20 μm .

Włókno lnu uzyskuje się z rośliny jednorocznej należącej do gatunku *Linum usitatissimum*. W roślinie włókno zlokalizowane jest w kłodzie, gdzie występuje w postaci tzw. pęczków. Pęczek jest zespołem włókien elementarnych sklejonych ze sobą substancją pektynową. Poszczególne pęczki połączone są ze sobą za pomocą pojedynczych włókien. Włókna te nazywają się anastomozami. Cały zespół włókien elementarnych kodygi nosi nazwę włókna technicznego.



5.5.1. Obraz mikroskopowy włókna elementarnego

W widoku wzdłużnym elementarne włókno lnu ma kształt cylindryczny. Powierzchnia włókna jest na ogół gładka, czasem na powierzchni można zaobserwować podłużne szczeliny i szpary. Osobliwością są widoczne poprzeczne i ukośne pęknięcia, tzw. przesunięcia, węzły i kolanka.

Wszystkie szczegóły budowy włókna widoczne są bardzo wyraźnie wówczas, gdy do obserwacji mikroskopowej używa się jako cieczy imersyjnej jodochlorku cynkowego. Pod wpływem jodochlorku cynkowego włókno zabarwia się na kolor czerwono fioletowy. W tych warunkach widać szczególnie wyraźnie przesunięcia, węzły i kolanka. Przy większym powiększeniu widać fibrylarną strukturę ścianki wtórnej włókna. Również przy większym powiększeniu łatwo można zaobserwować, że w wielu przypadkach kanał ma charakter nieciągły - nie występuje on we wszystkich miejscach wzdłuż włókna.

Przekrój poprzeczny włókien lnu ma kształt nieforemnych wielokątów o różnej wielkości.

Ścianki włókna są grube, a kanał wewnętrzny zajmuje małą powierzchnię; często zaznacza się lokalnie lub jest w ogóle niewidoczny.

5.5.2. Zarys podstawowych własności chemicznych

Własności chemiczne lnu są podobne do własności chemicznych bawełny. Pod wpływem Cuoxamu lub Cadoxenu włókno początkowo silnie pęcznieje w kierunku poprzecznym. Niekiedy protoplazma ściśnięta w kanale przybiera kształt węzowato sfałdowanej nitki. Po pewnym czasie włókno rozpuszcza się całkowicie.

5.5.3. Zasadnicze kryterium identyfikacji

Podstawowe kryterium identyfikacji lnu stanowi rozpuszczalność włókien w Cuoxamie lub Cadoxenie i obraz widoku wzdłużnego włókien.

5.6. Włókno juty

Włókno juty uzyskuje się z łodygi rośliny jednorocznej (rodzaj *Corchorus*), należącej do rodziny lipowatych, uprawianej w krajach o klimacie tropikalnym. Włókno techniczne jest długie (do 370 cm),



miękkie, odznaczające się pięknym połyskiem i barwą jasnokremową lub białą. Włókno elementarne - pojedyncza komórka roślinna o końcach ostrych lub zaokrąglonych, ma długość 0,8-5 mm i wymiar poprzeczny 15-25 μm .

W widoku wzdłużnym włókna elementarne mają kształt cylindryczny o powierzchni gładkiej. Charakterystyczne są przewężenia kanału, wynikające ze zmiennej na długości włókna grubości ścianki komórkowej. Przy użyciu do obserwacji jodochlorku cynkowego włókno zabarwia się na kolor żółty lub żółtobrunatny.

W przekroju poprzecznym kształt pojedynczego włókna jest wielokątny. Obserwuje się zmienną grubość ścianki i kanał wewnętrzny owalny o różnej wielkości.

Pod wpływem Cuoxamu i Cadoxenu włókno pęcznieje, lecz nie rozpuszcza się.

Zasadniczym kryterium identyfikacji włókna juty jest zachowanie się włókna w Cuoxamie lub Cadoxenie, a także charakterystyczne szczegóły jego obrazów mikroskopowych widoku wzdłużnego i przekroju poprzecznego.

5.7. Włókno ramii

Włókno ramii uzyskuje się z łodygi rośliny wieloletniej (*Boehmeria nivea*) należącej do rodziny pokrzywowatych, uprawianej w krajach o klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Komórka roślinna o postaci „tasiemkowej” stanowi włókno elementarne, którego długość wynosi 60-260 mm, a wymiar poprzeczny 15-20 μm .

W widoku wzdłużnym włókno ramii ma kształt spłaszczonej wstążki, miejscami skręcającej się; widoczne są przesunięcia oraz podłużne i poprzeczne pęknięcia. W warunkach użycia jodochlorku cynkowego jako cieczy imersyjnej, włókno barwi się na kolor czerwono-fioletowy, fioletowy, lub niebiesko-fioletowy, w zależności od stopnia dojrzałości włókna.

W przekroju poprzecznym włókno ma kształt owalny, charakterystycznie spłaszczony. W wyniku spłaszczenia, szeroki z natury rzeczy kanał wewnętrzny przybiera wygląd wąskiej szczeliny. W Cuoxamie i Cadoxenie włókno ramii szybko się rozpuszcza.

Zasadnicze kryterium identyfikacji włókna ramii stanowi jego rozpuszczalność w Cuoxamie lub w Cadoxenie oraz kształt przekroju poprzecznego.



5.8. Włókno sisalu

Włókno sisalu otrzymuje się z liści agawy (*Sisalano*) - wieloletniej rośliny wywodzącej się z Meksyku. Włókno techniczne odznacza się długością 60-150 cm i wymiarem poprzecznym rzędu 130-500 μm . Ma ono barwę białą, jasnożółtą lub rdzawo-brunatną. Włókna elementarne mają długość 1-5 mm, a ich przeciętny wymiar poprzeczny wynosi około 25 μm .

W widoku wzdłużnym elementarne włókno sisalu wykazuje kształt cylindryczny, gładką powierzchnię i wyraźnie nieregularną grubość kanału. Końce włókien stożkowate o tępych (najczęściej) wierzchołkach.

W przekroju poprzecznym włókno techniczne ma charakterystyczny kształt półksiężyca lub podkowy. Wewnątrz widoczne są wielokątne włókna elementarne o grubych (najczęściej) ściankach. Kanał - okrągły, średniej lub małej wielkości.

W Cuoxamie i Cadoxenie włókno sisalu rozpuszcza się.

Zasadniczym kryterium identyfikacji włókien sisalu jest ich rozpuszczalność w Cuoxamie lub Cadoxenie oraz kształt przekroju poprzecznego włókna technicznego.

5.9. Włókna wiskozowe

Włókna wiskozowe są włóknami sztucznymi, których tworzywem jest celuloza regenerowana.

Włókna wiskozowe są zróżnicowane w istotny sposób pod względem struktury i własności. Uwzględniając te różnice wyodrębnia się trzy zasadnicze rodzaje włókien wiskozowych: standardowe (normalne), modalne, kordowe. Ponadto, włókna modalne podzielić można jeszcze na polinozowe (zwykłe i wysokowytrzymałe) oraz HWM (High Wet Modulus).

Surowcem wyjściowym do produkcji włókien wiskozowych jest celuloza natywna (rodzima) uzyskiwana z drewna (świerk, sosna, buk, osika) lub z krótkich włókien bawełny (*linters*). Celuloza natywna, po kolejnych przeobrażeniach chemicznych i fizykochemicznych, odtworzona jest w kąpieli podczas formowania włókna. Proces regeneracji następuje w wyniku reakcji chemicznej zachodzącej pomiędzy celulozoksantogenianem sodowym - tworzącym polimerową strugę, a kwasem siarkowym - głównym składnikiem kąpieli. Oprócz H_2SO_4 , składnikami kąpieli są sole w postaci siarczanu sodowego (Na_2SO_4) i siarczanu cynkowego (ZnSO_4).

Proporcje ilościowe pomiędzy poszczególnymi składnikami kąpieli, obok parametrów jakościowych wiskozy, mają decydujący wpływ na kształt-



towanie się określonej makrostruktury i mikrostruktury włókna wiskozowego. W szczególności dotyczy to takich parametrów makro- i mikrostruktury jak kształt przekroju poprzecznego włókien, radialne zróżnicowanie fizycznej mikrostruktury tworzywa włókna. Odpowiednia kombinacja tych dwóch parametrów w określony układ determinuje podstawowe własności fizyczne i chemiczne włókien wiskozowych. W szczególności odnosi się to do własności mechanicznych (wytrzymałość, zdolność do odkształceń, współczynnik tarcia), cieplno-izolacyjnych, sorpcyjnych (higroskopijność, wybarwialność).

Zależność wielu tak ważnych własności m.in. od cech makroskopowych włókien wiskozowych, uzasadnia potrzebę dokładniejszego omówienia zagadnień związanych z kształtowaniem i charakterystyką makrostruktury tych włókien.

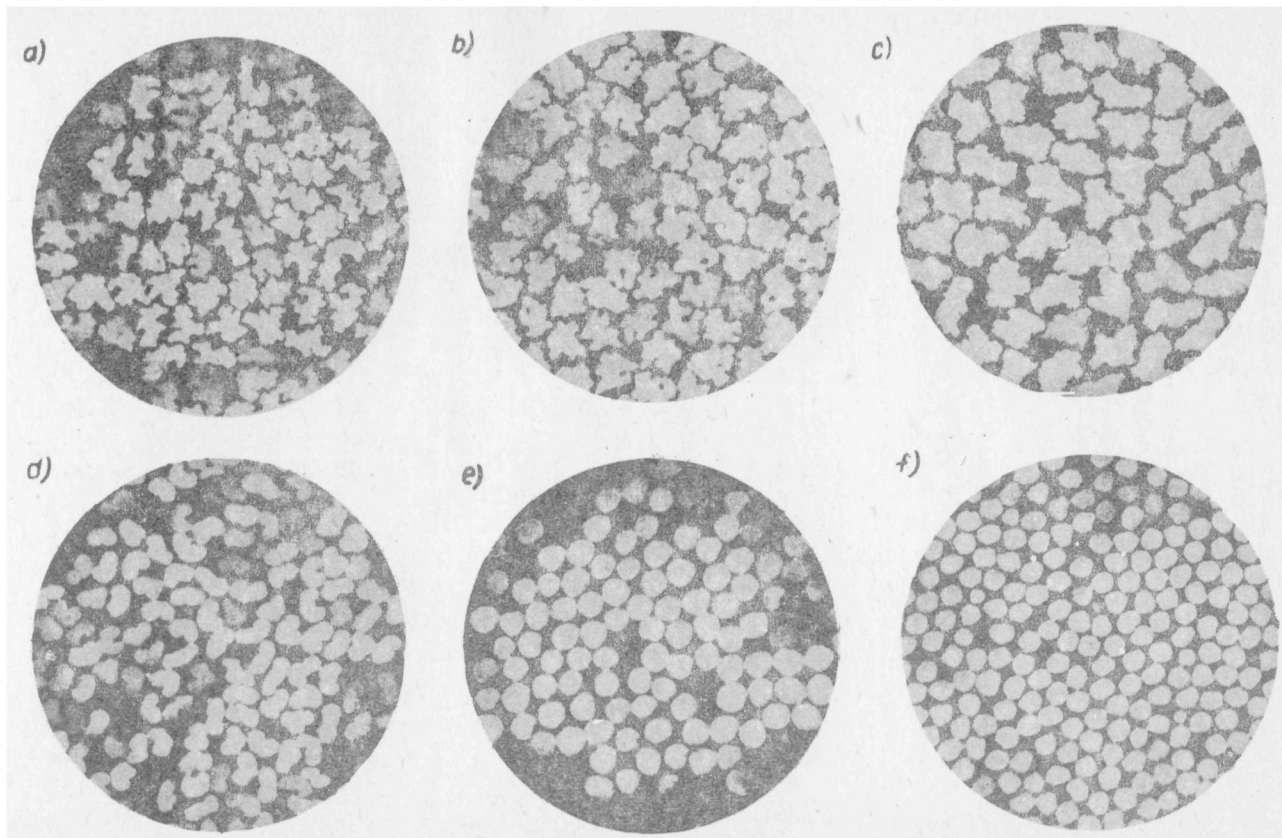
5.9.1. Kształtowanie przekroju poprzecznego włókien wiskozowych

W pierwszym momencie zestalania roztworu przędzalniczego w kąpiel, na powierzchni strugi powstaje cienka warstewka wytrąconego (zregenerowanego) polimeru. Jest ona ostro odgraniczona od ciekłego wnętrza i narasta stopniowo w głąb strugi.

Porowata struktura warstewki zewnętrznej umożliwia swobodną wymianę masy pomiędzy roztworem polimeru, a kąpielą zestalającą. Dwukierunkowy transport poszczególnych składników, odbywający się przez mikroszczeliny (kapilary), przyczynia się do powstawania określonego rodzaju naprężeń wewnętrznych w ściankach kapilar. Bezpośrednim efektem powstawania tych naprężeń jest ściskanie częściowo jeszcze ciekłej, a częściowo już zestalonej strugi polimerowej. Krytyczna wartość ciśnienia ściskającego, przy której następuje zgniecenie warstewki zewnętrznej, zależy przede wszystkim od jej sztywności. Zgniecenie następuje wówczas, gdy warstewka jest sztywna, lecz nie na tyle, aby skutecznie przeciwstawić się działającym siłom ściskającym.

Sztywność warstewki uwarunkowana jest prędkością jej tworzenia się; im ta prędkość jest większa tym sztywniejsza warstewka. Z kolei, prędkość powstawania warstewki związana jest bezpośrednio z warunkami formowania włókien. Ogólnie, zależy od efektywności oddziaływania kąpeli na strugę polimerową, tj. od relacji prędkości dwóch procesów - regeneracji i zestalania. W kąpielach „twardych”, które odznaczają się dużą prędkością wytrącania polimeru, powstająca warstewka





Rys. 25. Przykłady różnych kształtów przekrojów poprzecznych włókien wiskozowych

zewnątrzną charakteryzuje się dużą sztywnością. W takich warunkach, działające siły ściskające powodują najczęściej zgniecenie warstewki. Prowadzi to do uzyskania przekroju poprzecznego włókna o charakterystycznie rozwiniętym kształcie linii brzegowej. W kąpielach „miękkich” wytrącanie polimeru następuje powoli, warstewka zachowuje przez pewien czas swoją elastyczność, dzięki czemu, w wyniku relaksacji naprężeń wewnętrznych, nie dochodzi do jej deformacji. Efekt tego wyraża się w postaci uzyskania kołowego lub zbliżonego do kołowego kształtu przekroju poprzecznego włókna.

Ujmując rzecz najbardziej ogólnie stwierdzić należy, że kształt przekroju poprzecznego włókien wiskozowych zależy głównie od wartości różnicy dwóch prędkości: zestalania strugi i regeneracji polimeru. Im szybsze zestalanie w stosunku do regeneracji, tym bardziej będzie zbliżony do kołowego kształt przekroju poprzecznego włókien. Sterowanie w odpowiedni sposób prędkościami zachodzenia wspomnianych procesów umożliwia uzyskanie bardzo różnorodnych kształtów przekrojów poprzecznych włókien wiskozowych - włókien o kształtach mniej lub bardziej spłaszczonych, o linii brzegowej nierozwiniętej, lekko „ząbkowanej” lub bardzo silnie rozwiniętej (rys. 25).

Biorąc pod uwagę zróżnicowanie kształtów przekrojów poprzecznych włókien wiskozowych i uwzględniając jednocześnie wpływ tego kształtu na własności włókna, oczywiste staje się szczególne znaczenie oceny stopnia rozwinięcia kształtu przekroju poprzecznego włókien.

5.9.2. Ilościowa charakterystyka kształtów przekroju poprzecznego włókna

Ilościowo, kształt dowolnej figury można scharakteryzować za pomocą wskaźników takich jak iloraz izoperymetryczny i stopień rozwinięcia kształtu. Wskaźniki te określone są następującymi wzorami:

Iloraz izoperymetryczny

$$I = \frac{4\pi S}{l^2}, \quad (43)$$

Wskaźnik rozwinięcia kształtu

$$R = \frac{1}{3,54 \sqrt{S}} - 1, \quad (44)$$

gdzie S - pole figury geometrycznej (przekroju poprzecznego włókna),
 l - obwód figury.



Iloraz izoperymetryczny osiąga wartość $I = 1$ dla koła, a dla wszystkich innych figur jest mniejszy od jedności. W przypadku włókien wiskozowych, iloraz ten dostarczać może wyłącznie informacji o stopniu rozwinięcia linii brzegowej przekroju poprzecznego włókna. Ujemną cechą tego wskaźnika stanowi fakt, że może on przyjmować taką samą wartość dla różnych kształtów.

Wskaźnik stopnia rozwinięcia kształtu, podobnie jak wskaźnik poprzedni, przyjmuje wartości niemianowane. Dla koła $R = 0$, a w miarę zwiększania się rozwinięcia kształtu wartość R rośnie do nieskończoności. Pozytywną cechą omawianego wskaźnika jest to, że przyjmuje on jednakowe wartości liczbowe dla figur geometrycznie podobnych. Własność ta umożliwia określenie „granicy podobieństwa” kształtów. Na przykład, rodzinę kształtów figur zbliżonych do okręgu tworzą takie kształty, dla których $R \leq 0,050$.

Dla charakterystycznych kształtów przekrojów poprzecznych jedwabiu naturalnego oraz profilowanych „trójkątopodobnie” włókien syntetycznych, wartości R zawierają się w orientacyjnym przedziale 0,100-0,150.

Spłaszczonym kształtom przekrojów poprzecznych bawełny oraz dla niektórych włókien poliakrylonitrylowych (Orlon), odpowiadają wartości ci wskaźnika R około 0,250.

Dla włókien wiskozowych standardowych o bardzo silnie rozwiniętym kształcie przekroju poprzecznego, granice omawianego przedziału liczbowego określają wartości 0,450+0,750.

5.9.3. Obraz mikroskopowy włókien wiskozowych

W widoku wzdłużnym na powierzchni włókien wiskozowych standardowych obserwuje się „bruzdowatość”, charakterystyczną dla tych włókien. „Bruzdy” - wyraźne rysy biegnące równolegle do osi włókna, są odwzorowaniem rozwinięcia linii brzegowej przekroju poprzecznego włókna. Tego typu wzdłużne rysy nie występują na powierzchni włókien modalnych. Dla tych ostatnich powierzchnia włókna jest gładka. Możliwe jest występowanie ciemnych punkcików cząsteczek substancji matującej, które w przypadku włókien standardowych, ze względu na niejednorodność ich powierzchni są niewidoczne.

Kształty przekrojów poprzecznych włókien wiskozowych standardowych są różnorodne, lecz wszystkie odznaczają się wysokim stopniem rozwinięcia linii brzegowej. W przypadku włókien modalnych kształty



przekrojów są owalne, mniej lub bardziej zbliżone do koła; widoczne jest małe zróżnicowanie wymiaru poprzecznego włókna.

5.9.4. Zarys podstawowych własności chemicznych

Celuloza jako tworzywo włókien wiskozowych determinuje ich własności chemiczne. Tak więc, włókna te nie rozpuszczają się w kwasach organicznych, a stężone kwasy nieorganiczne powodują rozpad włókna w wyniku degradacji celulozy. Pod wpływem rozpuszczalników specjalnych: Cuoxamu i Cadoxenu, włókna równomiernie szybko pęcznieją, a następnie rozpuszczają się całkowicie.

W środowisku alkalicznym włókna wiskozowe pęcznieją w sposób zróżnicowany. Przy tym, w takich samych warunkach merceryzacji stopień spęcznienia zależy od struktury molekularnej i nadmolekularnej włókna. Decydujące znaczenie ma tutaj stopień polimeryzacji celulozy, radialne zróżnicowanie struktury tworzywa, budowa warstwy powierzchniowej włókna (np. fibrylarna w przypadku włókien polinozowych). Następstwem powyższych różnic jest to, że stopień spęcznienia włókien polinozowych jest mniejszy niż włókien standardowych, w analogicznych warunkach obróbki alkalicznej. Podobnie, w takich samych warunkach merceryzacji, stopień spęcznienia włókien polinozowych jest mniejszy niż włókien HWM. Orientacyjnie, w temperaturze pokojowej po 3 minutach, pod wpływem 10% roztworu NaOH następuje trzykrotne zwiększenie wymiaru poprzecznego włókna polinozowego i czterokrotne - włókna HWM.

5.9.5. Zasadnicze kryterium identyfikacji

Podstawowe kryterium identyfikacji włókien wiskozowych stanowi ich rozpuszczalność w Cuoxamie lub w Cadoxenie, a także obraz przekroju poprzecznego tych włókien. Włókna polinozowe można odróżnić od włókien HWM na podstawie oceny ich stopnia spęcznienia w 10% roztworze NaOH.

LITERATURA

- [1] B i k a l e s N. M., S e g a l L.: Cellulose and Cellulose Derivatives. J. Wiley. New York - London 1971.
- [2] Р о г о в и н З. А.: Химия Целлюлозы. Химия. Москва 1972.



- [3] К л е н к о в а Н. И.: Структура и реакционная способность целлюлозы. Наука. Ленинград 1976.
- [4] U r b a ŋ i c z y k G. W.: Nauka o Włóknie. PŁ. Łódź 1978.
- [5] D o w g i e l e w i c z S.: Roślinne Surowce Włókiennicze. PWN. Warszawa 1954.
- [6] H e y n A. N. J.: Fiber Microscopy. Interscience Publishers Ltd. London 1954.
- [7] G ü t z e K.: Chemiefasern nach dem Viskoseverfahren. Springer-Verlag. Berlin 1967.
- [8] У с у м а н о в Н. У., Н и к о н о в и ч Г. В.: Надмолекулярная структура гидратцеллюлозных волокон. ФАН, Ташкент 1974.
- [9] Н а ч и н к и н О. И.: О форме поперечного сечения химических волокон. Химич. Волокна № 2, 25, 1973.
- [10] G r u d n i e w s k i M.: Zastosowanie ilorazu izoperymetrycznego do oceny charakteru przekroju poprzecznego włókien sztucznych i syntetycznych. Zeszyty Naukowe PŁ, Włókiennictwo, z. 10, 1963, s. 25.
- [11] M a l i n o w s k a K.: Ocena stopnia rozwinięcia kształtu przekrojów poprzecznych włókien. Przegląd Włókienniczy 24, nr 4, 1975, 190.



6. WŁÓKNA OCTANOWE

Włókna octanowe są włóknami sztucznymi, których tworzywem jest acetyloceluloza - ester celulozy i kwasu octowego.

W zależności od tego czy jest to acetyloceluloza pierwotna (trój-acetyloceluloza), czy też częściowo zhydrolizowana (wtórna), wyróżnia się włókna odpowiednio 3-octanowe i 2,5-octanowe.

Ze względu na budowę chemiczną tworzywa, własności włókien octanowych różnią się znacznie od innych włókien sztucznych, a szczególnie od celulozowych. Włókna octanowe m.in. są włóknami termoplastycznymi i odznaczają się ograniczonym powinowactwem do barwników używanych do barwienia włókien celulozowych. Z uwagi na budowę chemiczną tworzywa, włókna octanowe zbliżone są pod względem własności do włókien syntetycznych.

W widoku wzdłużnym charakterystycznym szczegółem wyróżniającym włókna octanowe jest efekt tzw. smugowania; smuga (lub smugi) biegnąca wzdłuż włókna sprawia wrażenie pozornego kanału (kanałów).

Kształt przekroju poprzecznego włókien jest niesymetryczny. Linia brzegowa z reguły jest silnie rozwinięta.

Pod względem chemicznym włókna octanowe odznaczają się małą odpornością na działanie wielu substancji organicznych i nieorganicznych. Silnie stężone kwasy nieorganiczne powodują zniszczenie włókna w wyniku degradacji ich tworzywa. Spośród kwasów organicznych rozpuszczalnikami włókien octanowych są kwasy: octowy i mrówkowy. W środowisku alkalicznym włókna nie rozpuszczają się, jednak następuje znaczne zmniejszenie ich wytrzymałości. Z innego typu związków chemicznych rozpuszczalnikami włókien octanowych są m.in. aceton, fenol, chloroform, etylenodwuamina.

Podstawowym kryterium identyfikacji włókien octanowych jest ich rozpuszczalność w 80% kwasie octowym. Odróżnienia włókien 2,5-octanowych od 3-octanowych można dokonać na podstawie wyniku próby rozpuszczania tych włókien w chloroformie: włókna 2,5-octanowe nie rozpuszczają się, 3-octanowe rozpuszczają się.



LITERATURA

- [1] U r b a ń c z y k G. W.: Nauka o Włóknie. T 2, PŁ, Łódź 1978, s. 223.
- [2] R o s n e r T.: Włókna sztuczne. WNT. Warszawa 1966, s. 327.



7. WŁÓKNA SYNTETYCZNE

Mianem włókien syntetycznych określa się takie, których tworzywem jest polimer powstający w reakcji syntezy zaprogramowanej przez człowieka.

W umownie przyjętej klasyfikacji, włókna syntetyczne dzieli się na podstawowe, rozwojowe i specjalistyczne. Do grupy włókien podstawowych należą włókna poliestrowe, poliamidowe i poliakrylonitrylowe. W pozostałych grupach ważniejsze znaczenie we włókiennictwie mają takie włókna jak polipropylenowe, polichlorowinyłowe, polialkoholowinyłowe.

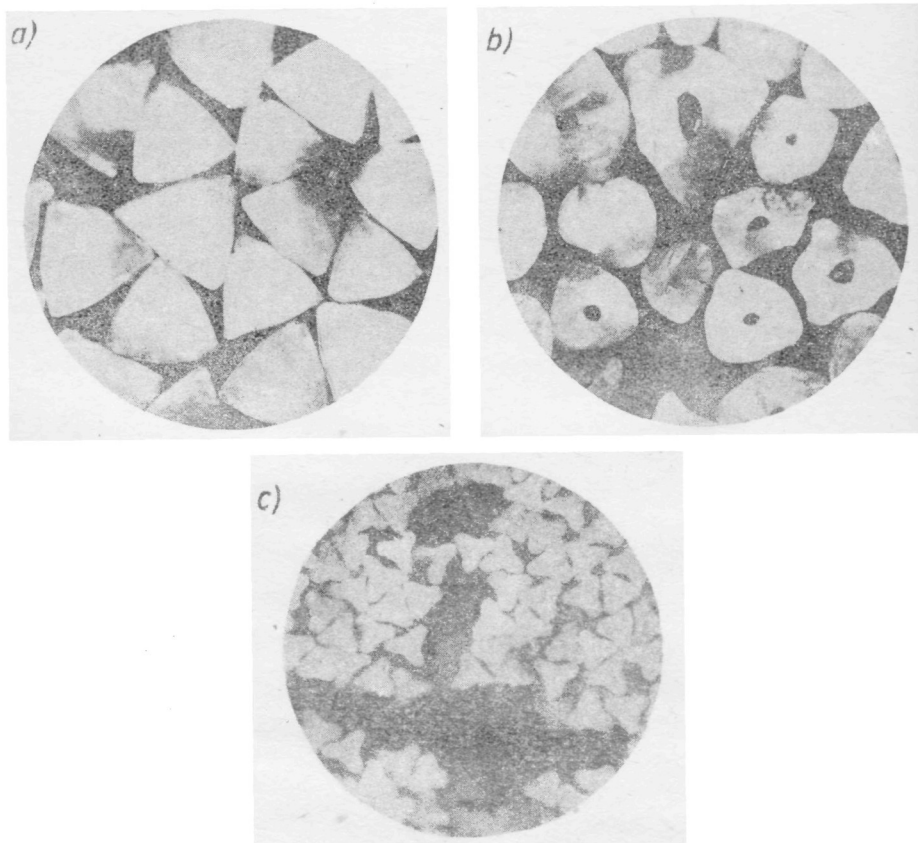
Obraz mikroskopowy większości włókien syntetycznych jest podobny - nie odznacza się on żadnymi rzucającymi się w oczy szczegółami charakterystycznymi. Wyjątek od tej reguły wśród ważniejszych rodzajów włókien stanowią jedynie włókna poliakrylonitrylowe typu Orlon. W tym przypadku ich charakterystyczną cechą jest „pisszczelowaty” kształt przekroju poprzecznego tych włókien. Kształt ten jest zasadniczo odmienny od kształtu kołowego - charakterystycznego dla większości włókien syntetycznych.

Kołowy kształt przekroju poprzecznego cechuje szczególnie te włókna, które formowane są ze stopu, np. poliestrowe, poliamidowe, polipropylenowe. Niekiedy jednak, włóknom takim nadawane są umyślnie inne, różne od kołowego, kształty przekrojów poprzecznych. Zabieg taki, niosący nazwę profilowania, odbywa się z reguły w czasie formowania włókien.

W wyniku profilowania może powstać taka sytuacja, że włókna syntetyczne tego samego rodzaju mogą mieć różne „wymuszone” kształty przekrojów poprzecznych (rys. 26). Może się również zdarzyć, że włókna dwóch zupełnie różnych rodzajów będą miały kształty przekrojów poprzecznych takie same.

Duże prawdopodobieństwo zaistnienia takich sytuacji przekreśla w praktyce możliwość identyfikacji większości włókien syntetycznych na podstawie kształtu ich przekrojów poprzecznego. Dlatego zasadniczym kryterium identyfikacji włókien syntetycznych może być tylko wynik testu rozpuszczania.





Rys. 26. Przykłady różnych kształtów przekrojów poprzecznych włókien poliamidowych - profilowanych

7.1. Włókna poliestrowe

Najszerwsze zastosowanie we włókiennictwie znajdują włókna poliestrowe, których tworzywem jest politereftalan etylenowy. Ponadto, znaczenie praktyczne mają również włókna poliestrowe typu Kodel.

Włókna poliestrowe cechuje bardzo duża odporność chemiczna. Ogólnie, włókna te są odporne na działanie kwasów organicznych i nieorganicznych, alkaliów, środków utleniających i redukujących, rozpuszczalników organicznych. Destrukcja włókna następuje dopiero w warunkach długotrwałego działania silnie stężonymi alkaliarnymi lub kwasami mineralnymi, w podwyższonej temperaturze.

Włókna z politereftalanu etylowego rozpuszczają się na zimno ($\sim 25^{\circ}\text{C}$) w kwasie dwu- i trójklorooctowym; na ciepło ($60-80^{\circ}\text{C}$) - w metakrezolu, ortohydroksydwufenylu i mieszaninach (1:1): aminobenzen - czterochloroetan i fenol - czterochloroetan.

Zasadnicze kryterium identyfikacji włókien poliestrowych stanowi z jednej strony - ich odporność na działanie rozpuszczalników, których używa się do rozpoznawania innych rodzajów włókien syntetycznych, z drugiej strony - rozpuszczalność na ciepło w mieszaninie fenolu i czterochloroetanu.

Testem, który pozwala odróżnić włókna z politereftalanu etylowego od włókien poliestrowych typu Kodel jest próba rozpuszczania tych włókien w specjalnie przygotowanym rozpuszczalniku. Rozpuszczalnikiem tym jest 10% roztwór hydrazyny w alkoholu butylowym. Pod wpływem jego działania na gorąco (wrzenie) włókna z politereftalanu etylowego rozpuszczają się, natomiast włókna typu Kodel - nie rozpuszczają się.

7.2. Włókna poliamidowe

Spośród wielu odmian produkowanych współcześnie włókien poliamidowych największe znaczenie we włókiennictwie mają włókna z polikaprolaktanu i polisześciometylenoadypoamidu. W nomenklaturze poliamidów wymienione polimery oznacza się symbolami odpowiednio PA 6 i PA 6.6.

Włókna poliamidowe odznaczają się stosunkowo dużą odpornością chemiczną. Rozpuszczalnikami tych włókien są jedynie związki chemiczne odznaczające się dużą polarnością.

Na zimno włókna poliamidowe rozpuszczają się w stężonych kwasach mineralnych, aromatycznych związkach organicznych zawierających grupę hydroksylową (fenol, krezol), metanolowym roztworze chlorku wapniowego, wodzianie chloralu. Najbardziej jednak charakterystycznym rozpuszczalnikiem tych włókien jest kwas mrówkowy. Oddziaływanie kwasu mrówkowego na włókna poliamidowe ilustrują następujące dane:



Tworzywo włókien	Rozpuszczalność w kwasie mrówkowym o stężeniu [%]
PA 6	70
Pa 6.6	80
PA 8	85
PA 6.10	90
PA 11 i 12	nie rozpuszczają się

Zasadniczym kryterium identyfikacji włókien z PA 6 i PA 6.6 jest ich rozpuszczalność w 80% kwasie mrówkowym. Natomiast odróżnić jeden typ włókna od drugiego można na podstawie prędkości rozpuszczania się go w odpowiednio stężonym (3,8 g na 2 cm³) wodnym roztworze hydratu chloralu; włókna z PA 6.6 rozpuszczają się szybko, włókna z PA 6 - powoli. Pewniejszy wynik rozróżnienia daje próba polegająca na działaniu na włókna specjalnym odczynnikiem - mieszaniną (1:1) dwumetyloformamidu (DMF) i 80% kwasu mrówkowego. W takiej mieszaninie na gorąco włókna z PA 6 rozpuszczają się bardzo szybko, podczas gdy włókna z PA 6.6 pęcznieją, lecz nie rozpuszczają się.

7.3. Włókna poliakrylonitrylowe

Tworzywem włókien poliakrylonitrylowym jest kopolimer zawierający w swoim składzie nie mniej niż 85% akrylonitrylu. Włókna tego typu są formowane z roztworu, z reguły na mokro, co odróżnia je w sposób zasadniczy od pozostałych podstawowych włókien syntetycznych. Specyficzny sposób formowania decyduje o makrostrukturze włókien poliakrylonitrylowych, a w szczególności o kształcie ich przekroju poprzecznego.

Najczęściej w praktyce roztwór przedzalniczy przygotowuje się rozpuszczając polimer w dwumetyloformamidzie (DMF). Ponadto, jako rozpuszczalnika używa się również niekiedy takich substancji jak dwumetyloacetamid, dwumetylosulfotlenek, wodny roztwór rodanku sodowego lub chlorku cynkowego.

Jako kąpieli koagulacyjnej używa się różnych cieczy, m.in. takich jak woda, alkohole wielowodorotlenowe (gliceryna, heksanotriol), węglowodory alifatyczne i aromatyczne. Najczęściej jednak, kąpielą koagulacyjną jest wodny roztwór dwumetyloformamidu. Działanie kąpieli polega na wymywaniu rozpuszczalnika ze strug roztworu polimeru, na skutek czego następuje zestalanie tworzywa włókien. W czasie zestalania kształtuje się przekrój poprzeczny włókien.



Parametrem, który decyduje o utworzeniu określonego kształtu przekroju poprzecznego włókien jest iloraz prędkości procesów dyfuzyjnych zachodzących w czasie formowania, konkretnie, stosunek prędkości dyfuzji nierozpuszczalnika w głąb strugi do prędkości dyfuzji rozpuszczalnika ze strugi do kąpieli. Duża wartość omawianego ilorazu oznacza tzw. „miękkie” warunki formowania, mała wartość ilorazu - warunki „twarde”. Ogólnie, w warunkach „miękkich” otrzymuje się włókna o przekroju kołowym lub zbliżonym do kołowego, w warunkach „twardych” - przekrój jest spłaszczony, o mniej lub bardziej pofalowanej linii brzowej. Warunki formowania określa temperatura kąpieli, ale przede wszystkim jej skład chemiczny. Tak więc, np. kąpiel wodna należy do kąpieli „miękkiej”, natomiast kąpiele alkoholowe należą do kąpieli „twardych”. W przypadku kąpieli będącej wodnym roztworem dwumetyloformamidu warunki formowania zależą od stężenia DMF.

Przy małych stężeniach (kąpiel „miękka”): kształt przekroju poprzecznego włókien jest okrągły, przy większym stężeniu ($\sim 50\%$): przekrój przyjmuje kształt fasoli, a dalsze zwiększenie stężenia ($\sim 80\%$ - kąpiel „twarda”) przyczynia się do tworzenia włókien o przekroju nieregularnie owalnym.

Włókna poliakrylonitrylowe są bardzo odporne na działanie czynników chemicznych. Nie rozpuszczają się one w żadnym z pospolitych rozpuszczalników organicznych, a jedynie w niektórych silnie polarnych cieczach (np. dwumetyloacetamid, dwumetylosulfotlenek itp.). Włókna wytrzymują, nawet w podwyższonej temperaturze, działanie silnie stężonych kwasów organicznych i kwasów nieorganicznych o średnim stężeniu. Dopiero silnie stężone kwasy azotowy i siarkowy powodują zniszczenie włókna. Alkalia, zwłaszcza rozcieńczone, na zimno nie działają na włókno, na gorąco natomiast uszkadzają włókno powodując hydrolizę jego tworzywa.

Zasadnicze kryterium identyfikacji włókien poliakrylonitrylowych stanowi ich rozpuszczalność w DMF na ciepło, przy jednoczesnej ich odporności na działanie typowych rozpuszczalników organicznych.

7.4. Włókna polichlorowinyłowe

Do klasycznych włókien polichlorowinyłowych zalicza się takie, których tworzywo składa się co najmniej w 85% z polichloroku winylu oraz takie włókna, które utworzone są z dochlorowanego polichloroku winylu*.

* Podwyższenie zawartości chloru w makrocząsteczce wynosi od 56% do zawartości w przedziale 63-65%.



Pod względem własności chemicznych, włókna utworzone z polimeru niedochlorowanego różnią się w sposób zasadniczy od włókien, których tworzywem jest polimer dochlorowany. Podstawową cechą odróżniającą te dwa rodzaje włókien polichlorowinyliowych jest ich odporność na działanie rozpuszczalników.

Włókna z polimeru niedochlorowanego odznaczają się wielką odpornością na działanie kwasów i alkaliów. Potencjalnymi rozpuszczalnikami tych włókien są tylko substancje zaliczane do klasy ketonów, cyklicznych estrów, chlorowanych węglowodorów. Natomiast, spośród wymienionych związków chemicznych, zdolność do rozpuszczania omawianych włókien mają tylko niektóre.

W praktyce, do rozpuszczania włókien z polichloru winylu nie chlorowanego używa się najczęściej chlorobenzenu, cykloheksyloaminy, dwumetyloformamidu, cykloheksanonu. W tych substancjach omawiane włókna rozpuszczają się na ogół tylko w podwyższonej temperaturze, na ciepło lub na gorąco. Bardziej drastyczne warunki termiczne związane są z procesem rozpuszczania tworzywa odznaczającego się wysokim stopniem polimeryzacji.

Włókna z polichloru winylu dochlorowanego, w porównaniu z włóknami z polimeru niedochlorowanego, odznaczają się mniejszą odpornością chemiczną. Włókna te łatwo rozpuszczają się w większości rozpuszczalników, z wyjątkiem alkoholi i węglowodorów alifatycznych, a rozpuszczalnikiem charakterystycznym jest aceton.

Podstawę do identyfikacji włókien polichlorowinyliowych stanowi fakt, że włókna te nie rozpuszczają się w kwasie octowym, rozpuszczają się na ciepło zarówno w dwumetyloformamidzie jak i w mieszaninie fenolu z czterochloroetanem. Z kolei, rozpuszczalność w acetonie tylko włókien z polichloru winylu dochlorowanego pozwala odróżnić je od włókien z polimeru niedochlorowanego.

7.5. Włókna polipropylenowe

Polimerem, który stanowi tworzywo włókien polipropylenowych jest polipropylen o budowie stereospecyficznej. Fakt ten wpływa w decydujący sposób na własności chemiczne włókien powyższego rodzaju. Ogólnie, włókna te są bierne chemicznie. Przejawem tego jest duża odporność włókien na działanie kwasów i alkaliów oraz rozpuszczalników organicznych w normalnej temperaturze. Rozpuszczanie następuje jedynie w niektórych chlorowcopochodnych węglowodorów oraz niepolarnych rozpuszczal-



nikach, takich jak dekalina, tetralina, w temperaturze $\sim 100^{\circ}\text{C}$. Właśnie rozpuszczalność w dekalinie na gorąco, przy braku rozpuszczalności w innych rozpuszczalnikach używanych do rozpoznawania włókien, może stanowić zasadnicze kryterium identyfikacji włókien polipropylenowych.

7.6. Włókna polialkoholowinyłowe

Włóknotwórczy polialkohol winylowy otrzymuje się w wyniku zmydlenia polioctanu winylowego. Włókna utworzone z powyższego polimeru rozpuszczają się w wodzie, co sprawia, że znajdują one zastosowanie jedynie do określonych celów specjalnych. Do wyrobu klasycznych tekstyliów natomiast używane są włókna polialkoholowinyłowe nierozpuszczalne w wodzie. Najczęściej włókna o takich właściwościach uzyskuje się w wyniku modyfikacji chemicznej ich tworzywa. Przekształcenie to polega na tworzeniu wiązań sieciujących między makrocząsteczkami polialkoholu winylowego. Dla uzyskania efektu sieciowania obróbkę chemiczną prowadzi się zwykle za pomocą określonego aldehydu, np. formaldehydu, benzaldehydu, chloracetaldehydu.

Typowym przykładem zmodyfikowanych włókien polialkoholowinyłowych, które znalazły stosunkowo szerokie zastosowanie we włókiennictwie, są produkowane w Japonii włókna Vinyłon i Kuralon. Te nierozpuszczalne w wodzie włókna cechuje duża odporność chemiczna, szczególnie na działanie kwasów i alkaliów w temperaturze pokojowej. Ponadto, włókna tego typu nie rozpuszczają się w większości pospolitych rozpuszczalników organicznych. Wyjątek stanowią tutaj fenol i etylenodwuamina, w których omawiane włókna rozpuszczają się w podwyższonej temperaturze ($\sim 100^{\circ}\text{C}$).

Zasadnicze kryterium identyfikacji zmodyfikowanych włókien polialkoholowinyłowych (Vinyłon, Kuralon) może stanowić ich rozpuszczalność w 80% kwasie mrówkowym, przy jednoczesnym braku rozpuszczalności w mieszaninie fenolu i czterochloroetanu na zimno.

LITERATURA

- [1] У р б а ї с з ы к Г. В.: Наука о волокне. Т. II. ПЛ. Łódź 1978.
- [2] П е т у х о в Б. В.: Полиэфирные волокна. Химия. Москва 1976.
- [3] К у д р я в ц е в Г. И., Н о с о в М. П., В о л о х и - н а А. В.: Полиамидные Волокна. Химия. Москва 1976.
- [4] под ред. П е р е п е л к и н а К. Э.: Карбоцепные синтетические волокна. Химия. Москва 1973.



8. PODSTAWOWE ZASADY IDENTYFIKACJI WŁÓKIEŃ

Identyfikacja włókien jest to jednoznaczne rozpoznanie rodzaju surowca włókienniczego na podstawie określonych wcześniej jego cech charakterystycznych. Cechy te mogą ujawniać się w zróżnicowanych własnościach włókien.

Najogólniej można wyodrębnić dwa zasadnicze rodzaje tych własności: cechy makroskopowe i cechy mikroskopowe. Określona cecha, w zależności od jej rodzaju, jest rozpoznawana na drodze oceny organoleptycznej lub za pomocą mikroskopu.

Celem oceny organoleptycznej jest wytyczenie kierunku dalszych badań bądź uzyskanie informacji uzupełniających. Klasycznym przykładem takiego postępowania jest tzw. test palenia włókien.

Za pomocą mikroskopu określa się takie typowe cechy jak wygląd włókien w widoku wzdłużnym i kształt ich przekroju poprzecznego. Obserwacje mikroskopowe stanowią również najważniejszą formę badania rozpuszczalności włókien.

W sumie więc, organoleptyczna ocena cech makroskopowych z reguły umożliwia tylko identyfikację wstępną włókien. Natomiast wyniki obserwacji mikroskopowych są zwykle wystarczające do stwierdzenia tożsamości włókien.

8.1. Identyfikacja makroskopowa włókien na podstawie testu palenia włókna

Wynik próby palenia jest rezultatem obserwacji procesu swobodnego spalania pęczka włókien określonego rodzaju. Przedmiotem obserwacji są produkty spalania. Oprócz nich na uwagę zasługuje również sposób w jaki spalają się włókna.

Najważniejszym elementem testu jest ocena rodzaju pozostałości po spalaniu. Ogólnie wyodrębnić można pozostałości o charakterze lotnego popiołu, „żużlu” bądź twardej topliny. Każdy z wymienionych rodzajów pozostałości jest charakterystyczny dla określonego rodzaju tworzywa; pierwszy - dla celulozy, drugi - dla białka, trzeci - dla większości włókien syntetycznych.



Oprócz pozostałości po spaleniu również zapach lotnych produktów spalania jest cechą, która umożliwia wstępną identyfikację rodzaju włókien, a szczególnie celulozowych i białkowych. Paląc się, włókna celulozowe wydzielają zapach palonego papieru, włókna białkowe - zapach palonego rogu.

Ostatnią cechą ocenianą przez eksperymentatora podczas próby palenia jest sposób w jaki spalają się włókna. Wyróżnia się trzy charakterystyczne przypadki: szybkie spalanie (włókna celulozowe), wolne spalanie (włókna białkowe), topienie bez płomienia - specyficzne dla prawie wszystkich włókien syntetycznych.

8.2. Identyfikacja mikroskopowa włókien

Przedstawiony niżej schemat identyfikacji jest oparty na mikroskopowych obserwacjach widoków wzdłużnych i przekrojów poprzecznych oraz rozpuszczalności włókien*. Podstawowym warunkiem, którego spełnienie gwarantuje uzyskanie właściwych jednoznacznych wyników jest wykonanie poszczególnych prób w podanej kolejności:

1. Obserwacja widoków wzdłużnych włókien

Można zidentyfikować

WELNĘ OWCZĄ (potwierdzeniem poprawności rozpoznania jest rozpuszczalność włókien w 5% roztworze NaOH na gorąco)

Można rozpoznać wstępnie

BAWEŁNĘ SUROWĄ,
LEN. JUTĘ

Uwaga: W stosunku do pozostałych włókien informacje niedostateczne dla ich rozpoznania.

2. Działanie Cuoxamu lub Cadoxenu

Rozpuszczalność stanowi ostateczne kryterium identyfikacji

BAWEŁNĘ SUROWĄ,
LNU.

Rozpuszczalność pozwala wstępnie rozpoznać

BAWEŁNĘ MERCERYZOWANĄ,
RAMIĘ,

* Wyodrębniono symbolicznie trzy przedziały temperaturowe określające warunki cieplne, stosowane przy rozpuszczaniu włókien: temperatury pokojowe - rozpuszczanie na zimno, 50-70°C - rozpuszczanie na ciepło, $\geq 100^\circ\text{C}$ - rozpuszczanie na gorąco.



SIZAL,
WISKOZOWE STANDARDOWE,
WISKOZOWE MODALNE,
JEDWAB (nie rozpuszcza się
w Cadoxenie).

Nierozpuszczanie się włókien rozpoznanych wstępnie jako JUTA stanowi argument o prawidłowości tego wniosku. Ostatecznym potwierdzeniem jest kształt przekroju poprzecznego włókna.

2a. Obserwacja przekrojów poprzecznych włókien rozpuszczalnych w Guoxamie lub w Cadoxenie

Można zidentyfikować ostatecznie
BAWEŁNĘ MERCERYZOWANĄ,
RAMIĘ,
SIZAL, (przekrój włókna technicznego),
WISKOZOWE STANDARDOWE,
WISKOZOWE MODALNE (rozdzielenie
włókien polinozowych od HWM, na
podstawie pomiaru pęcznienia w
10% roztworze NaOH),
JEDWAB NATURALNY (potwierdzeniem
poprawności rozpoznania jest
rozpuszczalność włókien w 5%
roztworze NaOH, na gorąco).

3. Rozpuszczalność w 5% roztworze NaOH, na gorąco

Identyfikacja włókien
KAZEINOWYCH

4. Rozpuszczalność w 80% kwasie octowym

Identyfikacja włókna
OCTANOWEGO (rozpuszczalność w
chloroformie odróżnia włókna
3- od 2,5-octanowych)



5. Rozpuszczalność w 80% kwasie mrówkowym

Wstępnie można rozpoznać włókna
POLIALKOHOLOWINYLOWE (Vinylnon,
Kuralon),
POLIAMIDOWE.

5a. Działanie mieszaniny fenolu i czterochloroetanu (na zimno) na włókna rozpuszczalne w 80% kwasie mrówkowym

Identyfikacja włókien

POLIALKOHOLOWINYLOWYCH - nie
rozpuszczają się (Vinylnon,
Kuralon),
POLIAMIDOWYCH - rozpuszczają
się (rozdzielenie włókien z PA 6
od włókien z PA 6.6, na podsta-
wie obserwacji ich zachowania
się w odczynniku specjalnym)

6. Rozpuszczalność w mieszaninie fenolu i czterochloroetanu, na ciepło

Wstępnie można rozpoznać włókna
POLIESTROWE,
POLICHLOROWINYLOWE.

7. Działanie dwumetyloformamidem, na ciepło

Można zidentyfikować włókna wstęp-
nie rozpoznane w p. 6:

POLIESTROWE - nie rozpuszczają się,
POLICHLOROWINYLOWE - rozpuszcza-
ją się,

a także włókna

POLIAKRYLONITRYLOWE - rozpusz-
czają się (włókna nie rozpusz-
czały się w rozpuszczalnikach
użytych poprzednio).



8. Rozpuszczalność w dekalinie, na gorąco

Identyfikacja włókien

POLIPROPYLENOWE - rozpuszczają się (włókna te nie rozpuszczały się w rozpuszczalnikach użytych poprzednio).

LITERATURA

- [1] K a l i n o w s k i J., U r b a n e c z y k G. W.: Włókna Chemiczne. WPLiS. Warszawa 1963.
- [2] Ż y l i ŋ s k i T.: Metrologia Włókiennicza. T. III, WNT. Warszawa 1969.
- [3] Polskie Normy: Rozpoznawanie włókien. PN-72/P-04604.



SPIS TREŚCI

1. Wstęp	3
2. Podstawy mikroskopii włókien	4
2.1. Budowa mikroskopu biologicznego	6
2.2. Powiększenie mikroskopu	8
2.3. Jakość obrazu mikroskopowego	11
2.4. Oświetlenie preparatu	13
2.5. Elementy wyposażenia dodatkowego mikroskopu	15
2.6. Elementy wyposażenia specjalnego mikroskopu	19
2.7. Przygotowanie włókien do obserwacji mikroskopowej	20
2.8. Rozpoczęcie obserwacji mikroskopowej	24
Literatura	25
3. Zastosowanie mikroskopu z urządzeniem polaryzacyjno-interferen- cyjnym do pomiaru wskaźnika dwójłomności włókien	26
3.1. Anizotropia optyczna	26
3.2. Wskaźnik dwójłomności	29
3.3. Zasada działania mikroskopu polaryzacyjno-interferencyjne- go	30
3.4. Interferencyjne pole prążkowe	34
3.5. Pomiar wskaźnika dwójłomności metodą prążkową	34
Literatura	37
4. Włókna białkowe	38
4.1. Tworzywo włókien	38
4.2. Wełna owcza	40
4.2.1. Wizualizacja mikroskopowa szczegółów budowy wew- nętrznej włókna wełny	42
4.2.2. Obraz mikroskopowy włókien wełny owczej	44
4.2.3. Zarys podstawowych własności chemicznych wełny	44
4.2.4. Zasadnicze kryterium identyfikacji	45
4.3. Jedwab naturalny	45
4.3.1. Obraz mikroskopowy włókien jedwabiu naturalnego	45
4.3.2. Zarys podstawowych własności chemicznych	46
4.3.3. Zasadnicze kryterium identyfikacji	46
4.4. Włókna kazeinowe	46
Literatura	47



5. Włókna celulozowe	48
5.1. Tworzywo włókien	48
5.2. Merceryzacja celulozy	49
5.2.1. Chemiczny efekt merceryzacji	49
5.2.2. Przemiana polimorficzna struktury krystalicznej	50
5.2.3. Zmiana makrostruktury włókna	50
5.3. Specjalne rozpuszczalniki celulozy	52
5.4. Włókno bawełny	53
5.4.1. Obraz mikroskopowy włókien	54
5.4.2. Zarys podstawowych własności chemicznych	55
5.4.3. Bawełna merceryzowana	57
5.4.4. Podstawowe kryterium identyfikacji	57
5.5. Włókno lnu	57
5.5.1. Obraz mikroskopowy włókna elementarnego	58
5.5.2. Zarys podstawowych własności chemicznych	58
5.5.3. Zasadnicze kryterium identyfikacji	58
5.6. Włókno juty	58
5.7. Włókno ramii	59
5.8. Włókno szałwii	60
5.9. Włókna wiskozowe	60
5.9.1. Kształtowanie przekroju poprzecznego włókien wiskozowych	61
5.9.2. Ilościowa charakterystyka kształtu przekroju poprzecznego włókna	63
5.9.3. Obraz mikroskopowy włókien wiskozowych	64
5.9.4. Zarys podstawowych własności chemicznych	65
5.9.5. Zasadnicze kryterium identyfikacji	65
Literatura	65
6. Włókna octanowe	67
Literatura	68
7. Włókna syntetyczne	69
7.1. Włókna poliestrowe	70
7.2. Włókna poliamidowe	71
7.3. Włókna poliakrylonitrylowe	72
7.4. Włókna polichlorowinyłowe	73
7.5. Włókna polipropylenowe	74
7.6. Włókna polialkoholowinyłowe	75
Literatura	75



8. Podstawowe zasady identyfikacji włókien	76
8.1. Identyfikacja makroskopowa włókien na podstawie testu pa- lenia włókna	76
8.2. Identyfikacja mikroskopowa włókien	77
Literatura	80



965-21

