

|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| OPTYKA<br>MECHANIKA<br>PRECYZYJNA<br>I PRZYRZĄDY<br>OPTYCZNE | N O R M A   B R A N Ż O W A                   | BN-84                 |
|  | Części optyczne                               | 5515-02               |
|  | Metoda ustalania<br>dopuszczalnej smużystości | Grupa katalogowa 1340 |

## 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy jest określenie metody ustalania dopuszczalnej smużystości w częściach optycznych znajdujących się poza płaszczyzną obrazową.

### 1.2. Określenia

**1.2.1. smużystość rzeczywista  $S_r$**  — zbiór smug zawartych w części optycznej.

**1.2.2. smużystość podstawowa  $S_p$**  — smużystość odniesiona do smug o największym dopuszczalnym natężeniu.

**1.2.3. smużystość dopuszczalna  $S$**  — zbiór smug powodujących mniejsze maksymalne deformacje czoła fali oraz mniejszy spadek jasności Strehla niż smugi określone przez smużystość podstawową.

**1.2.4. smugi** — ograniczone niejednorodności współczynnika załamania, zajmujące obszar mniejszy od powierzchni czynnej części.

**1.2.5. powierzchnia względna smugi** — iloraz powierzchni smugi przez powierzchnię przekroju wiązki aperturowej w miejscu lokalizacji smugi.

## 2. METODA USTALANIA SMUŻYSTOŚCI

**2.1. Sposób ustalania smużystości dopuszczalnej  $S$ .** Smużystość dopuszczalną określoną w 1.2.3 ustala się przez obliczanie smużystości podstawowej  $S_p$ .

**2.2. Sposób zapisu smużystości podstawowej  $S_p$  części optycznej.** Smużystość podstawową należy zapisać w postaci następującego wyrażenia

$$S_p = s_w \cdot W_{\max} \quad (1)$$

w którym:

$s_w$  — łączna powierzchnia względna smug przy założeniu, że wszystkie mają natężenie  $W_{\max}$ ,

$W_{\max}$  — największa dopuszczalna deformacja czoła fali na smugach wyrażona w częściach fali  $\lambda = 546,1$  nm.

**2.3. Sposób zapisu smużystości podstawowej wydzielonego obszaru części optycznej** — wg PN-76/N-01630 p. 2.3.3.

**2.4. Sposób zapisu smużystości rzeczywistej  $S_r$**  — wg 2.2 i 2.3 z tą różnicą, że wyrażenia  $s_w \cdot W_{\max}$  odnoszące się do różnych intensywności smug należy rozdzielić znakami plus

$$S_r = s_{w1} \cdot W_{1\max} + s_{w2} \cdot W_{2\max} + s_{w3} \cdot W_{3\max} + \dots \quad (2)$$

**2.5. Obliczanie smużystości podstawowej w częściach optycznych**

— założyć ubytek  $\Delta J$  jasności Strehla układu optycznego wywołany obecnością smug w częściach optycznych,

— obliczyć ubytek  $\Delta J_j$  jasności Strehla wywołany smugami w  $j$ -tej części, posługując się wzorem

$$\Delta J_j = \frac{\Delta J \cdot V_j}{\sum_{j=1}^N V_j} \quad (3)$$

w którym:

$N$  — liczba części optycznych w całym układzie,

$V_j$  — objętość  $j$ -tej części w obszarze wiązki aperturowej,  $\text{mm}^3$ ,

— przyjąć największe dopuszczalne natężenie smugi w części; jeżeli nie ma fizycznie lub komercyjnie uzasadnionych ograniczeń, należy przyjąć  $W_{j\max} = \lambda/2$ ,

— w pierwszej kolumnie tabeli odszukać wartość  $W_{j\max}$ , a w odpowiadającym jej wierszu — wartość  $\Delta J_j$ .

W nagłówku kolumny, w której znaleziono  $\Delta J_j$  odczytać dopuszczalną powierzchnię względną  $s_w$  smug o natężeniu  $W_{j\max}$ .

Zgłoszona przez Centralne Laboratorium Optyki  
Ustanowiona przez Dyrektora Centralnego Laboratorium Optyki dnia 21 grudnia 1984 r.  
jako norma obowiązująca od dnia 1 lipca 1985 r.  
(Dz. Norm. i Miar nr 4/1985 poz. 8)

| $W_{\max}$     | $S_w$  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | 0,01   | 0,02   | 0,03   | 0,04   | 0,05   | 0,06   | 0,07   | 0,08   | 0,09   | 0,10   |
| 0,05 $\lambda$ | 0,0003 | 0,0006 | 0,0009 | 0,0012 | 0,0015 | 0,0018 | 0,0021 | 0,0024 | 0,0027 | 0,0029 |
| 0,10 $\lambda$ | 0,0011 | 0,0023 | 0,0035 | 0,0046 | 0,0058 | 0,0070 | 0,0081 | 0,0093 | 0,0105 | 0,0116 |
| 0,15 $\lambda$ | 0,0025 | 0,0051 | 0,0076 | 0,0102 | 0,0127 | 0,0153 | 0,0178 | 0,0204 | 0,0229 | 0,0255 |
| 0,20 $\lambda$ | 0,0044 | 0,0088 | 0,0131 | 0,0175 | 0,0219 | 0,0263 | 0,0306 | 0,0350 | 0,0394 | 0,0438 |
| 0,30 $\lambda$ | 0,0089 | 0,0178 | 0,0268 | 0,0357 | 0,0446 | 0,0535 | 0,0624 | 0,0713 | 0,0803 | 0,0892 |
| 0,50 $\lambda$ | 0,0180 | 0,0360 | 0,0540 | 0,0720 | 0,0900 | 0,1080 | 0,1260 | 0,1440 | 0,1620 | 0,1800 |

cd. tablicy

| $W_{\max}$     | $S_w$  |        |        |       | Ocena natężenia   |
|----------------|--------|--------|--------|-------|---|
|                | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,7   |   |
| 0,05 $\lambda$ | 0,0029 | 0,0059 | 0,0088 | 0,011 | II kat. smużystości wg BN-75/6861-05  |
| 0,10 $\lambda$ | 0,116  | 0,0232 | 0,0348 | 0,043 | Granica wykrywalności przez lupę 5 $\times$ na czarno-białej krawędzi                   |
| 0,15 $\lambda$ | 0,0255 | 0,0510 | 0,0765 | 0,095 | III kat. smużystości wg BN-75/6861-05<br>Granica wykrywalności nieuzbrojonym okiem      |
| 0,20 $\lambda$ | 0,0438 | 0,0875 | 0,1313 | 0,163 | —   |
| 0,30 $\lambda$ | 0,0892 | 0,1784 |        |       | —   |
| 0,50 $\lambda$ | 0,1800 |        |        |       | Umowne natężenie smug widocznych nieuzbrojonym okiem oraz silniejszych od III kategorii |

Jeżeli w wierszu odpowiadającym  $W_{j\max}$  wszystkie wartości są większe od dopuszczalnej dla części wartości  $\Delta J_j$ , należy przyjąć kolejną mniejszą wartość  $W_{j\max}$ , powtórzyć postępowanie jak wyżej i zapisać smużystość podstawową  $j$ -tej części:

$$S_p = s_w \cdot W_{j\max} \quad (4)$$

Ubytki jasności Strehla  $\Delta J_j$  odpowiadające w tablicy powierzchniom względnym większym od 0,1 należy interpolować liniowo z dokładnością do 0,01  $s_w$ , posługując się pierwszymi dziesięcioma kolumnami tablicy.

Dopuszczalną powierzchnię smug  $s_w$  o innym natężeniu niż podano w tablicy oblicza się z przybliżonego wzoru

$$s_w = \frac{\Delta J_j}{1,8 (1 - \text{sinc } kW_{j\max})} \quad (5)$$

ślusznego dla  $s_w \leq 0,3$  i  $\Delta J \leq 0,1$ .

Jeżeli powierzchnia względna smug przekracza 0,3 lub nie jest określona ( $W_{\max}$  poniżej granicy wykrywalności), przyjmuje się, że ich powierzchnia względna wynosi 0,7.

W przyrządach o zmiennej przesłonie aperturowej smużystość podstawową obliczać dla najmniejszej przesłony.

W ostatniej kolumnie tablicy podano granice wykrywalności smug metodą wizualną oraz cieniową Dworzaka przyporządkowane odpowiadającym im deformacjom czoła fali  $W_{\max}$ .

**2.6. Kryterium oceny smużystości rzeczywistej  $S_r$  części optycznej.** W części optycznej lub w wydzielonym obszarze zamiast smużystości podstawowej można dopuścić smużystość rzeczywistą określoną wzorem

$$S_r = \sum_{i=1}^m (s_{wi} \cdot W_{i\max}) \quad (6)$$

w którym  $i$  — wskaźnik sumowania smug w części, zachowując następujące warunki:

— żadna smuga nie może być silniejsza od smugi podstawowej,

— spadek jasności Strehla spowodowany smugami rzeczywistymi nie może przekroczyć spadku wywołanego smużystością podstawową.

K O Ń C E C

Informacje dodatkowe



**INFORMACJE DODATKOWE**

**1. Instytucja opracowująca normę** — Centralne Laboratorium Optyki, Warszawa.

**2. Normy związane**

PN-76/N-01630 Rysunek techniczny. Zasady wykonywania rysunków części i zespołów oraz schematów optycznych  
 BN-75/6861-05 Szkło optyczne. Badania smużystości szkła optycznego w blokach metodą bezimersyjną Dworzaka

**3. Normy zagraniczne**

RFN DIN 3140 Teil 3 Mass und Toleranzangaben fuer Optikeinzelteile Schlieren

**4. Autor projektu normy** — prof. dr hab. inż. Florian Ratajczyk — Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej.

**5. Podstawy teoretyczne przedmiotu normy.** Jasność Strehla doskonałego układu optycznego obciążonego smugami opisano we wzorach:

$$J = \left(1 - \sum_i A_i\right)^2 + \left(\sum_i B_i\right)^2 \tag{I-1}$$

$$A_i = s_{wi} \cdot (1 - \text{sinc } kW_{i \max}) \tag{I-2}$$

$$B_i = s_{wi} \cdot \frac{kW_{i \max}}{2} \cdot \text{sinc}^2 \frac{kW_{i \max}}{2} \tag{I-3}$$

Można je zastąpić wzorem przybliżonym

$$\Delta J = 1,8 \cdot \sum_i A_i \tag{I-4}$$

słusznym w obszarze objętym tablicą. Podstawową zaletą tego wzoru jest addytywność przyczynków ubytku jasności Strehla pochodzących od poszczególnych smug. Ta zasada addytywności leży u podstawy niniejszej normy. Na tej podstawie można w sposób podany

w p. 2.5 obliczyć dopuszczalne ubytki jasności Strehla dla poszczególnych części oraz na podstawie równania

$$s_w = \frac{\Delta J}{1,8 \cdot (1 - \text{sinc } kW_{i \max})} \tag{I-5}$$

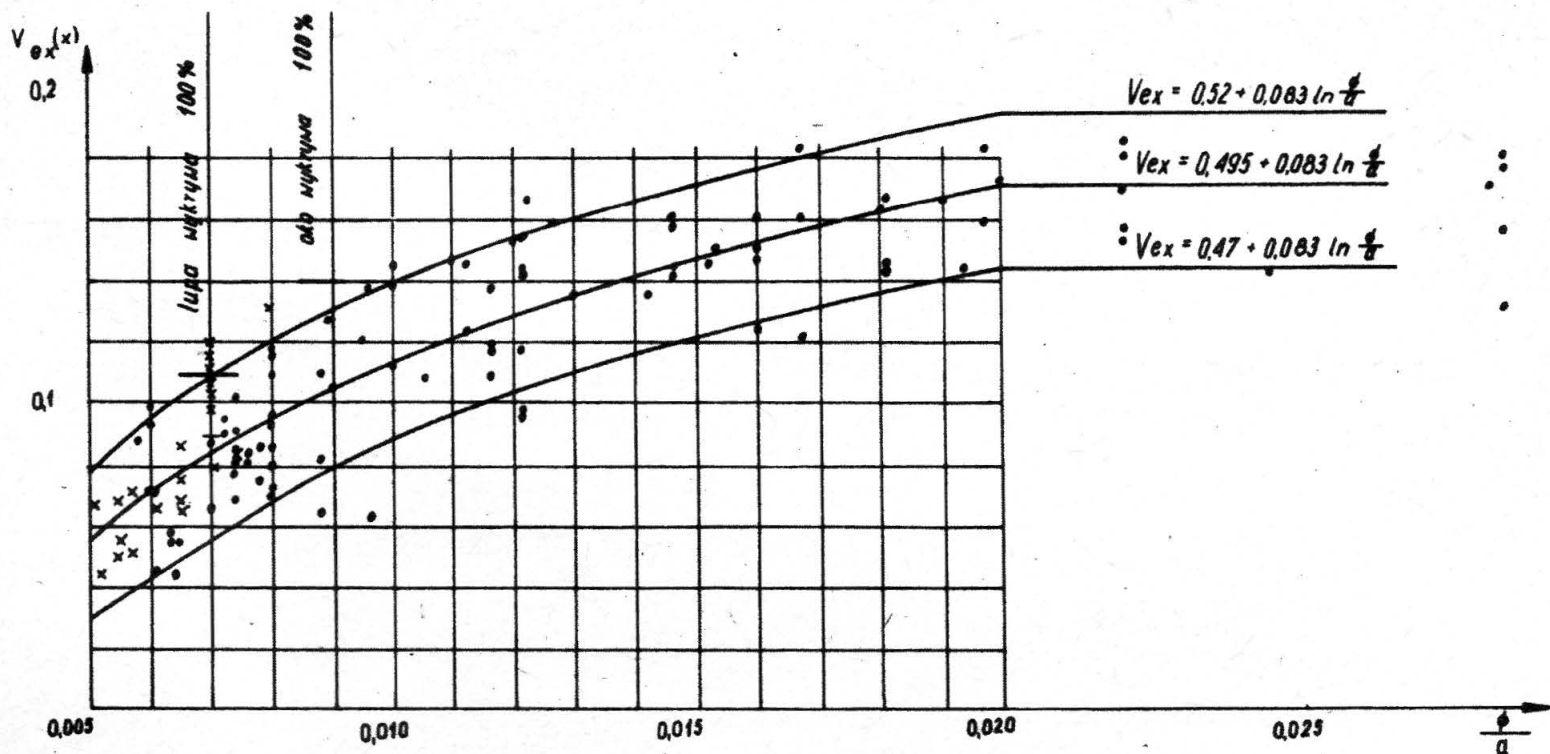
dla zadanej wartości  $W_{i \max}$  w tablicy liniowo interpolować  $\Delta J$  w funkcji  $s_w$ , a także zamieniać smugę podstawową na równoważną liczbę smug o mniejszym natężeniu.

Dopuszczalna wartość  $W_{j \max}$  częściej jest związana z czułością metod kontroli smużystości niż jej wyborem.

Ocena deformacji czoła fali w metodzie cieniowej Dworzaka oraz bezpośredniej obserwacji wizualnej przez lupę lub bez niej jest możliwa tylko w przybliżeniu. Na rysunku przedstawiono zbiór punktów doświadczalnych. Każdy z nich odpowiada ilorazowi średnicy źródła światła  $\varnothing$  w metodzie Dworzaka do jego odległości  $a$  od badanej smugi, przy którym znika smuga o zmierzonym wcześniej natężeniu. Zbiór punktów ograniczono dwiema liniami, które mają następujący sens: przy danej czułości metody ( $\varnothing/a$ ) wykrywa się wszystkie smugi leżące powyżej górnej granicy zbioru, nigdy natomiast nie obserwuje się smug leżących poniżej dolnej granicy; bezpieczny sposób określania smug polega na przyjęciu założenia, że oprócz smug widocznych, w części optycznej znajdują się jeszcze smugi o natężeniu na granicy wykrywalności metody zajmujące 0,7 powierzchni względnej; przy takiej powierzchni względnej smugi najsilniej obniżają jasność Strehla.

Spadki jasności Strehla podane w tablicy dla  $S_w = 0,7$  wyliczono z przybliżonego wzoru

$$\Delta J_j = 0,67 (1 - \text{sinc } kW_{j \max}) \tag{I-6}$$



## 6. Literatura

Ratajczyk F.: Wpływ lokalnych niejednorodności i nieciągłości na jakość odwzorowania w instrumentach optycznych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej 1979

Ratajczyk F., Grzech Z., Pietraszkiewicz K.: Tolerowanie wad materiałowych szkła i obliczanie ich wpływu na wartość miar odwzorowania. Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej 1982. Raport serii SPR nr 116/82 opracowany dla PZO Warszawa.

## 7. Przykłady ustalania dopuszczalnej smużystości

### Przykład 1

Obliczyć smużystość dopuszczalną lupy achromatycznej.

Dane konstrukcyjne:

| R        | $d_0$  | $V_j$               |
|----------|--------|---------------------|
| 68,5 mm  |        |                     |
|          | 0,7 mm | 1,2 mm <sup>3</sup> |
| 22,5 mm  |        |                     |
|          | 2,3 mm | 4,1 mm <sup>3</sup> |
| -33,3 mm |        |                     |

Założenia:

1) Średnica wiązki aperturowej jest ograniczona średnicą źrenicy oka i wynosi 3 mm.

2) Dopuszczalny spadek jasności Strehla wynosi  $\Delta J = 0,02$ .

3) Smugi nie powinny być widoczne gołym okiem, a więc można dopuścić ich natężenie  $W_{\max} = 0,15 \lambda$

Przyczynki spadku jasności Strehla dla soczewek na podstawie wzoru (3):

$$\text{dla soczewki 1} \quad \Delta J_1 = \frac{0,02 \cdot 1,2 \text{ mm}^3}{5,3 \text{ mm}^3} = 0,0045$$

$$\text{dla soczewki 2} \quad \Delta J_2 = \frac{0,02 \cdot 4,1 \text{ mm}^3}{5,3 \text{ mm}^3} = 0,0155$$

Obliczanie smużystości podstawowej wg p. 2.5:

$$\text{dla soczewki 1} \quad S_p = 0,02 \cdot 0,15 \lambda$$

$$\text{dla soczewki 2} \quad S_p = 0,06 \cdot 0,15 \lambda$$

Z powodu małego obszaru określania smużystości spełnienie wymagań podanych wyżej jest praktycznie niemożliwe. Z tego powodu wg wzoru (5) należy obliczyć  $W_{\max}$ , jaką może mieć dowolna liczba smug, nie obniżając jasności Strehla więcej niż obliczono wg wzoru (3). Dla soczewki 1 otrzymuje się  $W_{1\max} = 0,032 \lambda$ , dla soczewki 2 —  $W_{2\max} = 0,06 \lambda$ . W przybliżeniu można dla obu soczewek przyjąć  $W = 0,05 \lambda$ , co oznacza II kategorię smużystości.

Ostatecznie więc smużystość dopuszczalna:

$$\text{dla soczewki 1} \quad S = 1 \cdot 0,05 \lambda$$

$$\text{dla soczewki 2} \quad S = 1 \cdot 0,05 \lambda$$

### Przykład 2

Obliczyć smużystość dopuszczalną obiektywu rzutnika.

Dane konstrukcyjne:

| R         | $d_0$  | $\emptyset$ | $V_j$                |
|-----------|--------|-------------|----------------------|
| 35,56 mm  |        |             |                      |
|           | 5,1 mm | 24 mm       | 1682 mm <sup>3</sup> |
| -99,08 mm |        |             |                      |
| -30,27 mm |        |             |                      |
|           | 1,9 mm | 22 mm       | 1391 mm <sup>3</sup> |
| 44,46 mm  |        |             |                      |
|           | 5,7 mm | 30 mm       | 2785 mm <sup>3</sup> |
| -32,96 mm |        |             |                      |

Założenia:

1) Średnica wiązki aperturowej jest równa średnicy czynnej soczewek

2) Dopuszczalny spadek jasności Strehla  $\Delta J = 0,03$ .

3) W dwóch pierwszych soczewkach ze względów komercyjnych smugi nie powinny być widoczne gołym okiem, w trzeciej — natężenia smugi nie określa się.

Przyczynki spadku jasności Strehla dla soczewek ze wzoru (3):

$$\text{dla soczewki 1} \quad \Delta J_1 = \frac{0,03 \cdot 1682 \text{ mm}^3}{5858 \text{ mm}^3} = 0,0086$$

$$\text{dla soczewki 2} \quad \Delta J_2 = \frac{0,03 \cdot 1391 \text{ mm}^3}{5858 \text{ mm}^3} = 0,0071$$

$$\text{dla soczewki 3} \quad \Delta J_3 = \frac{0,03 \cdot 2785 \text{ mm}^3}{5858 \text{ mm}^3} = 0,0143$$

Obliczanie smużystości dopuszczalnej wg p. 2.5:

$$\text{dla soczewki 1} \quad S = 0,03 \cdot 0,15 \lambda$$

$$\text{dla soczewki 2} \quad S = 0,03 \cdot 0,15 \lambda$$

$$\text{dla soczewki 3} \quad S = 0,01 \cdot 0,5 \lambda$$

### Przykład 3

Smużystość podstawowa wynosi  $S_p = 0,3 \cdot 0,15 \lambda$ .

Za dopuszczalną należy uznać m.in. następującą smużystość rzeczywistą części:

$$S_r = (0,1 \cdot 0,15 \lambda) + (0,05 \cdot 0,1 \lambda) + (0,16 \cdot 0,05 \lambda)$$