

**Robert Gabor**

**Laboratorium metod badania materiałów**

**6. Metalografia ilościowa**

*©2002-2006 by Tremolo – Robert Gabor pomyśl zanim skopiujesz ☺*

Więcej na: [www.tremolo.prv.pl](http://www.tremolo.prv.pl) , [www.tremolo.elektroda.eu](http://www.tremolo.elektroda.eu) ,  
[www.tremolo.pl](http://www.tremolo.pl) dział laboratoria

## METODY POWIERZCHNIOWE

### *METODA PLANIMETRYCZNA*



Metoda polegała na wycięciu ze struktury obszaru prostokątnego, następnie obrysowaniu za pomocą planimetru obranego pomiarowego obszaru ziaren nie stykających się z krawędziami prostokąta.

Struktura zobrazowana była w powiększeniu 325x

Pole powierzchni wyniosło

$$A_T (\text{powiększone}) = \sim 14000 \text{mm}^2$$

Zakładając, że powiększenie było równomierne w całej powierzchni obrazu oryginalny wycinek struktury miał pole równe

$$A_T = \frac{A_T (\text{powiększone})}{325^2} = \frac{14000 \text{mm}^2}{105625} = 0,13 \text{mm}^2$$

Ziaren w zaznaczonym obszarze  $A_T$  było 26 zatem:

$$N_A = \frac{N}{A_T} = \frac{26}{0,13 \text{mm}^2} = \sim 200 \frac{1}{\text{mm}^2}$$

$$\langle A \rangle = \frac{1}{N_A} = 5 \cdot 10^{-3} \text{mm}^2$$

### *METODA JEFFRIESA*

Ze struktury gruboziarnistej w powiększeniu 325x wycięto koło o średnicy 180mm i polu

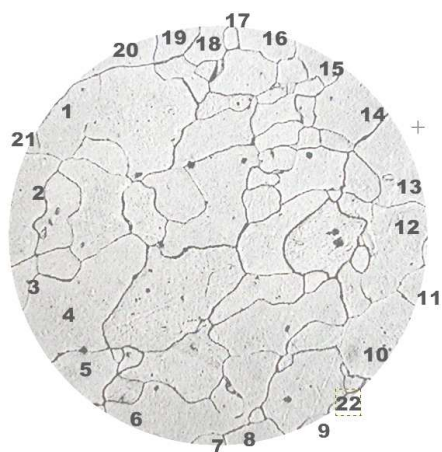
$$A_T (\text{powiększone}) = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (180 \text{mm})^2}{4} = 25434 \text{mm}^2$$

Zakładając, że powiększenie było równomierne w całej powierzchni obrazu oryginalny wycinek struktury miał pole równe

$$A_T = \frac{A_T(\text{powiększone})}{325^2} = \frac{25434\text{mm}^2}{105625} = 0,241\text{mm}^2$$

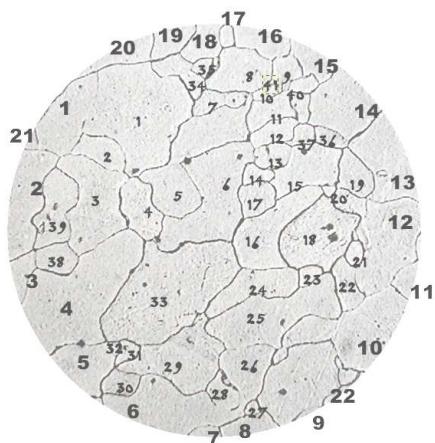
Liczba ziaren, która przecięła się z krawędzią obszaru wyniosła

$$N_p = 22$$



Liczba ziaren jaka znalazła się wewnątrz obszaru wyniosła

$$N_w = 41$$



Zatem skoro obszar pomiarowy jest kołem to, wg metody Jeffriesa:

$$N_A = \frac{N_w + vN_p + \omega}{A_T}$$

$$v = \frac{1}{2} - \frac{\langle d \rangle}{4D}; \omega = 0$$

$$\langle d \rangle \ll D$$

zatem dla tych warunków

$$v = \frac{1}{2}$$

I ostateczny wynik to:

$$N_A = \frac{41 + 0,5 \cdot 22 + 0}{0,241 \text{ mm}^2} = \frac{52}{0,241 \text{ mm}^2} = \sim 216,80 \frac{1}{\text{mm}^2}$$

$$\langle A \rangle = \frac{1}{N_A} = 4,63 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$$

## ***METODA PRZECIĘĆ WĘZŁÓW***



W metodzie tej liczymy ilość punktów węzłowych czyli punktów w których zbiegają się powierzchnie ziaren. Liczność tych punktów to ich ilość w danej powierzchni zglądu widzianego pod mikroskopem. Przyjeliśmy obszar roboczy 75mmx75mm o polu 5650 mm<sup>2</sup>

W rzeczywistym materiale po uwzględnieniu skali obszar ten ma pole powierzchni 0,053 mm<sup>2</sup>.

Zatem liczność względna punktów węzłowych w materiale wynosi

$$P_A = \frac{P}{A_T} = \frac{21}{0,053} = 396,2 \frac{1}{\text{mm}^2}$$

Zgodnie z jednym ze wzorów wyprowadzonych przez S. A. Sałykowa:

$$N_A = \frac{1}{2} P_A = 198,1 \frac{1}{mm^2}$$

Następnie możemy wyliczyć średnie pole ziarna.

$$\langle A \rangle = \frac{1}{198,1 \frac{1}{mm^2}} = 0,00504 mm^2 = 5,04 \cdot 10^{-5} mm^2$$

### ***Pomiar porównawczy: wg PN-66/H-4507***

Pomiar polega na porównaniu jakościowym struktury z wzorca ze strukturą badaną. Wzorzec powinien przedstawiać w możliwie najdokładniej obraz struktury. Metoda ta nie nadaje się do struktur silnie zdeformowanych na przykład przez zgniot.

Badanemu zglądowi najbliższ było do struktury przedstawionej na obrazku z numerem 5

Co oznacza że średnia wielkość ziarna wynosi około:  $N_A = 8 \cdot 2^G = 2^3 \cdot 2^5 = 2^8 = 256 \frac{1}{mm}$

### ***Pomiar długości względnej stereologiczną metodą punktów węzłowych:***

Stereologiczna metoda oparta jest na jednym ze wzorów wyprowadzonych przez S. A. Sałtykowa

$L_V = 2P_A = 2 \cdot 396,2 \frac{1}{mm^2} = 792,4 \frac{mm}{mm^3}$  gdzie  $L_V$  – długość względna linii w strukturze przestrzennej, czyli długość linii przypadająca na jednostkę objętości.

## **METODY LINIOWE**

Struktura liniowa jest miejscem przecięcia się struktury płaskiej z linią prostą (odcinkiem pomiarowym) umieszczonym na zglądzie.

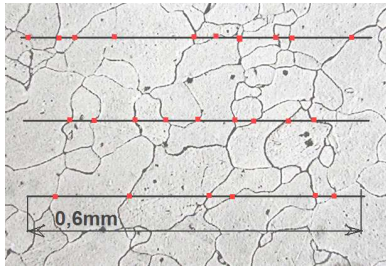
Badając strukturę liniową możemy wyliczyć:

$N_L = \frac{N}{L_T}$  - czyli liniową licznosc względna ziaren, gdzie  $N$  – to liczba ziaren  $L_T$  - długość

odcinka pomiarowego

$P_L = \frac{P}{L_T}$  - czyli liniową licznosc punktów granicznych,  $P$  – licznosc punktów

$\langle L \rangle$  - średnią liniową wielkość ziaren (długość ziaren)



Obliczam liniowa względną licznosc punktów granicznych, w trzech pomiarach:

$$1) P_L = \frac{P}{L_T} = \frac{10}{0,6mm} = 16,7 \frac{1}{mm}$$

$$2) P_L = \frac{P}{L_T} = \frac{9}{0,6mm} = 15 \frac{1}{mm}$$

$$3) P_L = \frac{P}{L_T} = \frac{6}{0,6mm} = 10 \frac{1}{mm}$$

Wyciągam średnią z 3 pomiarów i otrzymuje:  $N_L = \frac{14}{mm}$

Na podstawie wzoru Sałtykowa (względna ilość ziaren w strukturze liniowej jest równa względnej ilości punktów granicznych)

$$N_L = P_L = 14 \frac{1}{mm}$$

### ***Pomiar powierzchni względnej $S_v$ Stereologiczną metodą przecięć siecznych***

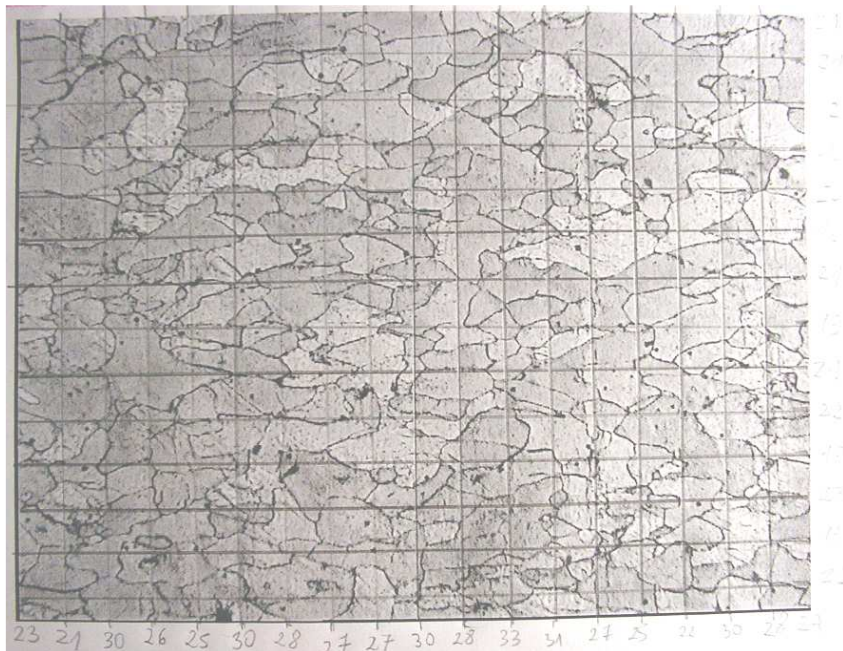
Pomiar powierzchni względnej stereologiczną metodą siecznych w przypadku zorientowanej struktury przestrzennej.

W jednofazowej, jednorodnej strukturze przestrzennej powierzchnie graniczne SA częściowo zorientowane.

Powierzchnie o orientacji liniowej cechuje oś orientacji. Parametr  $S_v$  – czyli średnia powierzchni ziarna w przestrzeni 3-wymiarowej wylicza się wg wzoru

$S_v = 1,571P_L^\perp + 0,429P_L^p$ , gdzie  $P_L$  to licznosc względna punktów węzłowych w odcinkach pomiarowych; w pierwszym składniku prostopadłych do osi orientacji, w drugim równoległych do tejże osi

## *Pomiar powierzchni względnej $S_v$ Stereologiczną metodą przecięć siecznych*



**Struktura przecięta 19-toma liniami prostopadłymi do osi orientacji oraz 14-toma liniami równoległymi do tejże osi**

Powiększenie 325x – prostokąt wycięty ze struktury ma rzeczywisty wymiar 240x185 mm  
Co odpowiada rzeczywistej strukturze: 0,7385mm x 0,554mm

## *Pomiar powierzchni względnej $S_v$ Stereologiczną metodą przecięć siecznych*

Pomiar powierzchni względnej stereologiczną metodą siecznych w przypadku zorientowanej struktury przestrzennej.

W jednofazowej, jednorodnej strukturze przestrzennej powierzchnie graniczne SA częściowo zorientowane.

Powierzchnie o orientacji liniowej cechuje oś orientacji. Parametr  $S_v$  – czyli średnia powierzchni ziarna w przestrzeni 3-wymiarowej wylicza się wg wzoru

$S_v = 1,571P_L^\perp + 0,429P_L^p$ , gdzie  $P_L$  to liczność względna punktów węzłowych w odcinkach pomiarowych; w pierwszym składniku prostopadłych do osi orientacji, w drugim równoległych do tejże osi

**Liczba przecięć granic z liniami prostopadłymi do osi orient.:**

Za liczbę przecięć z osiami prostopadłymi przyjąłem średnią z 19 pomiarów liniowych  $P_L^\perp$

$$P_L^\perp = \left\langle \frac{P}{L_T} \right\rangle = \frac{1}{19} \left( \frac{P_1^\perp}{L_{T1}} + \frac{P_2^\perp}{L_{T2}} + \dots + \frac{P_{19}^\perp}{L_{T19}} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i^\perp}{L_{Ti}}$$

$$L_T = L_{T1} = L_{T2} = \dots = L_{T19} = \frac{135\text{mm}}{\frac{135\text{mm}}{180\text{mm}} \cdot 325 \times} = 0,554\text{mm} \quad , \text{zatem:}$$

$$P_L^\perp = \left\langle \frac{P}{L_T} \right\rangle = \frac{P_1^\perp + P_2^\perp + \dots + P_{19}^\perp}{19L_T} = \frac{23 + 21 + 30 + 26 + \dots + 24}{19L_T} = \frac{515}{19L_T} = \frac{27}{0,554\text{mm}} = 48,927 / \text{mm}$$

**Liczba przecięć granic z liniami równoległymi do osi orient.:**

Za liczbę przecięć z osiami prostopadłymi przyjąłem średnią z 14 pomiarów liniowych  $P_L^\perp$

$$P_L^p = \left\langle \frac{P^p}{L'_T} \right\rangle = \frac{1}{19} \left( \frac{P_1^p}{L'_{T1}} + \frac{P_2^p}{L'_{T2}} + \dots + \frac{P_{14}^p}{L'_{T14}} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i^p}{L'_{Ti}}$$

$$L'_T = L'_{T1} = L'_{T2} = \dots = L'_{T19} = \frac{180\text{mm}}{\frac{180\text{mm}}{240\text{mm}} \cdot 325 \times} = 0,7385\text{mm} \quad , \text{zatem:}$$

$$P_L^p = \left\langle \frac{P^p}{L'_T} \right\rangle = \frac{P_1^p + P_2^p + \dots + P_{14}^p}{14L'_T} = \frac{21 + 21 + 31 + 19 + \dots + 21}{14L'_T} = \frac{20,5}{0,7384\text{mm}} = 27,759 / \text{mm}$$

Obliczam  $S_v$  – względną powierzchnię w strukturze przestrzennej

$$S_v = 1,571P_L^\perp + 0,429P_L^p = 1,571 \cdot 48,927 \frac{1}{\text{mm}} + 0,429 \cdot 27,759 \frac{1}{\text{mm}} = 88,774 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^3}$$

Obliczam stopień orientacji liniowej  $\alpha_1$ , korzystając ze wzoru:

$$\alpha_1 = \frac{1,571(P_L^\perp - P_L^p)}{S_v} = \frac{1,571(P_L^\perp - P_L^p)}{1,571P_L^\perp + 0,429P_L^p} = \frac{1,571(48,927 - 27,759)}{88,774} = \frac{33,255}{88,773} = 0,375$$

Stopień orientacji  $\alpha_1$  zawierał się pomiędzy  $0 < \alpha_1 < 1$

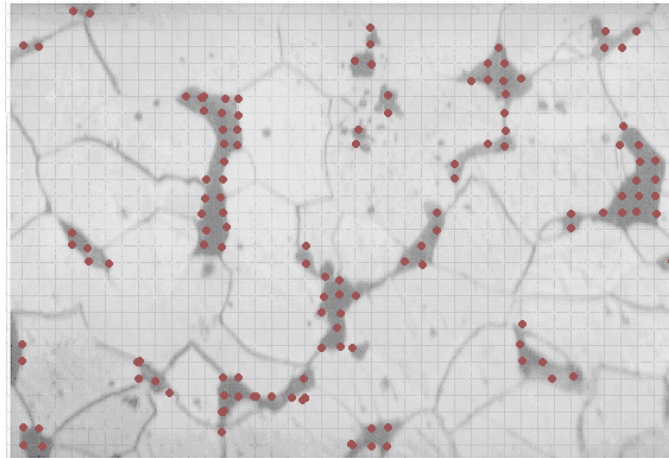


## Struktura dwufazowa

*Pomiar parametru  $P_p^\beta = \frac{P^\beta}{P_T}$  w strukturze punktowej.*

$P_p^\beta = \frac{P^\beta}{P_T}$  - jest to względna liczność punktów ortogonalnej siatki znajdujących się w obszarze fazy  $\beta$  do wszystkich punktów siatki o określonej rozdzielczości. Tzw. ułamek punktów.

W naszym przypadku rozważyłem strukturę ferrytyczno-perlityczną stali. Rzutując na powierzchnie zdjęcia zglądu siatkę ortogonalną 40 punktów szerokości na 27 punktów wysokości. Następnie zliczyłem ilość punktów nakładających się na strukturę czarnego perlitu.



Siatka posiada  $P_T = 27 \cdot 40 = 1080$  punktów

Perlit jest pokryty  $P^\beta = 127$  punktami

Zatem:

$$P_p^\beta = \frac{P^\beta}{P_T} = \frac{127}{1080} = 0,12$$

Perlit zawiera się w 12% powierzchni.

A ilość ferrytu to dopełnienie do 100% czyli materiał zawiera 88% ferrytu.

Dzięki tym wyliczeniom możemy wyliczyć, że stal zawiera 88% praktycznie zerowego roztworu węgla w żelazie  $\alpha$  (ferrycie) i 11% mieszaniny eutektoidalnej czyli perlitu o stężeniu węgla 0,8%

Zatem węgla w tej stali jest:

$$0,89 \cdot 0\%C + 0,12 \cdot 0,8\%C = 0,1\% C$$

Zatem badana stal jest stalą niskowęglową.

## WNIOSKI:

W wyniku przeprowadzenia ćwiczenia poznaliśmy podstawowe metody nieautomatyczne służące do określania wielkości ziaren w strukturze polikrystalicznej. Oraz niektóre metody automatyczne przy użyciu komputerowych programów graficznych.

W wyniku przeprowadzenia ćwiczenia porównaliśmy strukturę zglądu jednofazowego zglądu metalograficznego za pomocą 4 metod powierzchniowych: metody planimetrycznej, metody Jeffriesa, metody przecięć punktów węzłowych, metody porównawczej. W trzech pierwszych metodach zaobserwowano bardzo podobne wyniki ilość ziaren w strukturze wynosiła około 200 na milimetr kwadratowy (z drobnymi różnicami nie większymi niż 10%).

Średnia długość linii w strukturze przestrzennej wyniosła  $794\text{mm}/\text{mm}^3$

Liniowa względna licznosc ziaren w strukturze wyniosła  $14/\text{mm}$

Średnie pole płaskie przekroju ziarna w strukturze przestrzennej wyniosło  $44,56\text{ mm}^2/\text{mm}^3$

Stopień orientacji wyniósł  $\alpha_1 = 0,375$

Ilość względna licznosc punktów perlitu w stali wyniosła  $0,12$  , ułamek ferrytu wyniósł natomiast  $0,88$ . Co oznacza że stal miała około  $0,1\%$  węgla.

Metody metalografii ilościowej pozwalają wywnioskować:

- Jak zorientowane są ziarna w strukturze i jakim kierunkom naprężeń został on poddany (na przykład poprzez zgmiot).
- ile wynosi średnia wielkość ziarna: liniowa, powierzchniowa i objętościowa (oraz jak się to ma do właściwości mechanicznych danego materiału)
- jaka jest licznosc punktów (węzłów w strukturze), jaka jest liczba ziaren w strukturze
- jakie jest wzajemne stężenie składników mieszaniny wielofazowej
- jaki jest udział procentowy węgla w stali złożonej na przykład z ferrytu i perlitu o określonych stężeniach węgla.

### *Literatura*

1. A. Wala – *Mikroskopowe badania metalograficzne* – Wydawnictwo UŚ – Katowice 2004
2. Z. Wendorf – *Metalografia* – PWN Warszawa 1977

**©2002-2006 by Tremolo – Robert Gabor pomyśl zanim skopiujesz ☺**

Więcej na: [www.tremolo.prv.pl](http://www.tremolo.prv.pl) , [www.tremolo.elektroda.eu](http://www.tremolo.elektroda.eu) , [www.tremolo.pl](http://www.tremolo.pl) dział laboratoria