



УКРАЇНА

(19) UA (11) 77135 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01N 33/20
G01N 21/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ

1

(21) а200508333
(22) 26.08.2005
(24) 16.10.2006
(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.
(72) Перчаник Віктор Вольфович, Лезінська Олена Яківна, Гулькін Євгеній Вікторович, RU
(73) Лезінська Олена Яківна
(56) SU 85111 A1, 1950
SU 3777673 A1, 17.04.1973
JP 60143769 A, 30.07.1985
JP 63228062 A, 22.09.1988
(57) Спосіб визначення основних параметрів структури металу, що включає виготовлення шліфа, отримання видимого зображення зернистої структури металу, вибір на зображенні структури представницької її області, на яку наносять групу паралельних рівновіддалених січних з подальшим виміром величин хорд, що утворилися в результаті перерізу меж зерен металу представницької області зображення групою січних, і по отриманій сукупності вимірів проводять реконструкцію структури, після чого судять про величини її параметрів, який відрізняється тим, що як представницьку область зображення зернистої структури вибирають сукупність не менш 3-х зерен, які межують одне з одним, на яку і наносять як групу паралельних рівновіддалених січних, так і перпендикулярну до неї - другу ідентичну їй групу січних, заміряючи довжини хорд, що утворилися від перерізу січними обох груп меж вибраної сукупності зерен, потім знаходять значення розподілу змріаних хорд в заданих інтервалах і проводять реконструкцію плоских перерізів зерна шляхом рішення системи лінійних рівнянь виду:

2

$$P_k(\ell) = P_n(\delta) \frac{\sqrt{\delta_n^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_n^2 - \delta_k^2}}{\delta_n} + P_{n-1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{n-1}} + \dots$$

$$+ P_{k+1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{k+1}} + P_k(\delta) \frac{\sqrt{\delta_k^2 - \delta_{k-1}^2}}{\delta_k},$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;
k - порядковий номер будь-який від 1 до n інтервалу вимірювань;

$P_k(\ell)$ - розподіл хорд на плоскому зрізі в будь-якому k-тому інтервалі вимірювань;

$P_k(\delta)$ - знайдений при реконструкції розподіл діаметрів плоских перерізів зерен в будь-якому k-тому інтервалі вимірювань;

δ_k - діаметр зерна на плоскому зрізі, відповідний середині будь-якого k-того інтервалу вимірювань, а реконструкцію об'ємної структури металу здійснюють шляхом рішення аналогічної системи лінійних рівнянь виду:

$$P_k(\delta) = P_n(D) \frac{\sqrt{D_n^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_n^2 - D_k^2}}{D_n} + P_{n-1}(D) \frac{\sqrt{D_{n-1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{n-1}^2 - D_k^2}}{D_{n-1}} + \dots$$

$$+ P_{k+1}(D) \frac{\sqrt{D_{k+1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{k+1}^2 - D_k^2}}{D_{k+1}} + P_k(D) \frac{\sqrt{D_k^2 - D_{k-1}^2}}{D_k},$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;

$P_k(\delta)$ - розподіл діаметрів плоских перерізів зерен в будь-якому k-тому інтервалі вимірювань;

$P_k(D)$ - знайдений при реконструкції розподіл діаметрів зерен в будь-якому k-тому інтервалі вимірювань об'єму;

D_k - діаметр зерна в об'ємі, відповідний середині будь-якого k-того інтервалу вимірювань, після чого знаходять розподіл діаметрів зерен в об'ємі і відповідні йому числові характеристики, визначальні основні параметри структури в об'ємі.

Винахід відноситься до області металографічних досліджень і аналізу матеріалів, зокрема до способів визначення основних параметрів структури металу.

Відомо, що практично всі фізико-механічні властивості металів і сплавів є структурно-чутливими, тобто такі властивості як міцність, пластичність, ударна в'язкість, жароміцність, корозійна

стійкість, теплопровідність, магнітна проникність і багато інших, напряму залежать від розмірів структурних складових (зерен) і ступеня їх однорідності у всьому об'ємі виробу.

Отримання тих або інших властивостей в готових виробах забезпечується поєднанням деформації і термічної обробки, режимами яких розробляються на підставі вивчення структури плоского

(19) UA (11) 77135 (13) C2

зрізу зразків, що вирізали з виробу на певній стадії його виготовлення.

В даний час визначення кількості зерен в одиниці площі і середнього розміру зерна виконують на плоскому зрізі (шліфі) і воно дає дуже наближене уявлення про структуру металу в об'ємі, що не дозволяє упевнено судити про правильність вибору відповідних режимів деформації і термічної обробки. Таке положення приводить до виникнення браку при виробництві виробів дуже відповідального призначення. Так, наприклад, при виробництві труб-оболонки тепловиділяючих елементів ядерних енергетичних установок з дорогих хромонікелевих сплавів брак по величині зерна і механічним властивостям досягає 3-5%.

Таке ж положення спостерігається і при виробництві котельних труб з хромонікелевої сталі 12X18H10T, вимоги до яких пред'являють як по величині зерна, так і по різнозернистості.

Вимоги по величині зерна і різнозернистості пред'являються до виробів, використовуваних в електротехніці (молібденові нитки розжарення), літакобудуванні, медицині і інших галузях промисловості.

Відомий спосіб визначення основних параметрів структури металу, що включає виготовлення шліфа, отримання видимого зображення зеренної структури на плоскому зрізі, фотографування перерізу одного із зерен, вимір на фотовідбитку геометричних параметрів і розподіл знайдених величин в частках по розмірах.

При використанні даного способу для вибору інтервалів вимірювання використовують заздалегідь розроблені таблиці інтервалів перерахунку, причому розміри інтервалів вимірювань регламентуються методикою розрахунку значень параметрів розподілу. Саме вимірювання плоских перерізів проводять візуально при пересуванні шліфа мікрометричним гвинтом столика мікроскопа у напрямку строго перпендикулярному до лінійки окуляра.

При цьому:

- спочатку здійснюють попередній перегляд шліфа, встановлюють найбільший діаметр або найбільшу площу, спостережуваних перерізів, а потім встановлюють розмірні інтервали діаметрів;
- для розподілу перерізів зерен по розмірах заздалегідь встановлюють ряд розмірних груп, наприклад, в межах від 7 до 12;
- збільшення мікроскопа підбирають так, щоб діаметр найбільших перерізів був рівний цілому числу розподілів окулярної лінійки мікроскопа в межах від 7 до 12. [С.А. Салтыков Стереометрическая металлография. - М., 1976. - С. 222-228].

Даний спосіб дозволяє визначити тільки розподіл перерізів зерен по розмірах для подальшого розрахунку числа зерен на одиниці площі і середній діаметр зерна.

Такий процес характеризується низькою точністю через погрешності, що виникає в процесі складного методу вимірювання об'єктів плоского зрізу.

Відомий також спосіб визначення основних параметрів структури металу, що включає виготовлення шліфа, отримання видимого зображення зеренної структури металу і вибір на зображенні

структури представницької її області, на яку наносять групу паралельних рівновіддалених січних з подальшим виміром величин хорд, що утворилися в результаті перерізу представницької області зображення групою січних, і по отриманій сукупності вимірів проводять реконструкцію структури, після чого судять про величини її параметрів. При цьому як представницьку область фотографують максимальний переріз одного із зерен, а після реконструкції судять про розподіл розмірів плоских перерізів зерна і його середній діаметр [а. с. №1397832, G01N 33/20, 88].

При використанні даного способу точність реконструкції структури невисока, так як він дає можливість визначення параметрів лише монодисперсної системи, що складається із зерен такого ж розміру, як і досліджуване. Реальні ж структури представляють собою полідисперсні системи. Крім того, даний спосіб забезпечує отримання тільки таких основних параметрів структури металу, як розподіл розмірів плоских перерізів зерен. Тому його технологічні можливості і його застосування при розробці режимів термічної обробки металу надто обмежені.

В основі пропонованого винаходу лежить рішення задачі по удосконаленню способу визначення основних параметрів структури металу шляхом зміни умов обробки видимого зображення зеренної структури металу, і прийомів по її реконструкції, внаслідок чого досягається підвищення точності знайдених величин основних параметрів структури при одночасному забезпеченні розширення технологічних можливостей способу.

Поставлена задача розв'язана тим, що в способі визначення основних параметрів структури металу, що включає виготовлення шліфа, отримання видимого зображення зеренної структури металу, вибір на зображенні структури представницької її області, на яку наносять групу паралельних рівновіддалених січних з подальшим виміром величин хорд, що утворилися в результаті перерізів меж зерен представницької області зображення групою січних, і по отриманій сукупності вимірів проводять реконструкцію структури, після чого судять про величини її параметрів, згідно винаходу, як представницьку область зображення зеренної структури вибирають сукупність не менш 3-х зерен, які межують друг з другом, на яку і наносять, як групу паралельних рівновіддалених січних, так і перпендикулярну до неї - другу ідентичну їй групу січних, заміряючи довжини хорд, що утворилися від перерізу січними обох груп меж вибраної сукупності зерен, потім знаходять значення розподілу зміряних хорд в заданих інтервалах і проводять реконструкцію плоских перерізів зерна шляхом рішення системи лінійних рівнянь виду:

$$P_k(\delta) = P_n(\delta) \frac{\sqrt{\delta_n^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_n^2 - \delta_k^2}}{\delta_n} + P_{n-1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{n-1}} + \dots + P_{k+1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{k+1}} + P_k(\delta) \frac{\sqrt{\delta_k^2 - \delta_{k-1}^2}}{\delta_k}, \quad (1)$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;

k - порядковий номер будь-який від 1 до n інтервалу вимірювань;

$P_k(l)$ - розподіл хорд на плоскому зрізі в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

$P_k(\delta)$ - знайдений при реконструкції розподіл плоских перерізів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

δ_k - діаметр зерна на плоскому зрізі, відповідний середині будь-якого k -того інтервалу вимірювань,

а реконструкцію об'ємної структури металу здійснюють шляхом рішення аналогічної системи лінійних рівнянь виду:

$$P_k(\delta) = P_n(D) \frac{\sqrt{D_n^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_n^2 - D_k^2}}{D_n} + P_{n-1}(D) \frac{\sqrt{D_{n-1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{n-1}^2 - D_k^2}}{D_{n-1}} + \dots + P_{k+1}(D) \frac{\sqrt{D_{k+1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{k+1}^2 - D_k^2}}{D_{k+1}} + P_k(D) \frac{\sqrt{D_k^2 - D_{k-1}^2}}{D_k}, \quad (2)$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;

$P_k(\delta)$ - розподіл плоских перерізів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

$P_k(D)$ - знайдений при реконструкції розподіл діаметрів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань об'єму;

D_k - діаметр зерна в об'ємі, відповідний середині будь-якого k -того інтервалу вимірювань, після чого знаходять розподіл зерен в об'ємі і числові характеристики, визначають основні параметри структури в об'ємі.

Як останні можуть бути:

- розміри кожного зерна представницької області;
- кількість зерен і розподіл їх розмірів в об'ємі металу;
- середнє значення розмірів зерна;
- середньоквадратичне відхилення від середнього розміру;
- коефіцієнт варіації, що характеризує ступінь однорідності структури.

Пропонований спосіб відрізняється від способу найближчого з аналогів тим, що представницька область включає сукупність указаних зерен, тобто полідисперсну систему, на яку наносять як групу паралельних рівновіддалених січних, так і перпендикулярну до неї - другу ідентичну їй групу січних, заміряючи всі довжини хорд, що утворилися в результаті перерізу меж представницької області і вирішують систему лінійних рівнянь запропонованого виду, причому, спочатку проводять реконструкцію плоских перерізів зерен, а потім проводять реконструкцію об'ємної структури, і, вирішуючи аналогічну систему лінійних рівнянь, знаходять розподіл зерен в об'ємі і числові характеристики основних параметрів об'ємної структури металу.

Технічним результатом запропонованого способу в порівнянні з найближчим з аналогів є підвищення точності знайдених величин основних параметрів структури при одночасному забезпеченні розширення технологічних можливостей способу. Це обумовлено тим, що обробка отриманого видимого зображення зереної структури металу, виконана двома етапами по формулах, що заявляються, дозволяє не обмежувати кількість інтервалів вимірювання і перерізів з подальшим високоточним вимірюванням величин хорд і, тим самим, збільшувати точність самої

реконструкції і кількість параметрів, що вимірюються. Як представницьку область вибирають полідисперсну систему, що полягає, як мінімум, з трьох зерен, а не монодисперсну, як в способі найближчому з аналогів - одне зерно з максимальним перерізом, що також сприяє підвищенню точності при одночасному забезпеченні отримання будь-яких параметрів структури, а не двох, як в прототипі - розподіл розмірів і середній діаметр зерна.

Указане в поєднанні з використанням принципу рівномірності положення січних елементів відносно центрів об'єктів, що розтинаються, на площині і в об'ємі, а також застосування умов суперпозиції [Советский энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1982. - 1284с.] для полідисперсної системи об'єктів, навело до однакових по вид систем лінійних рівнянь, що дозволяють реконструювати структуру як на переході від лінії до площини, так і на переході від площини до об'єму, підвищивши тим самим точність способу і розширивши його технологічні можливості.

На фігурі 1 зображена фотографія типової зереної мікроструктури однофазної сталі аустенітного класу з позначеною жирною лінією представницької області оброблюваної мікроструктури.

На фігурі 2 зображена схема вибраної представницької області після розпізнавання і редагування в ході обробки.

На фігурі 3 представлено розподіл хорд плоского зрізу $P(\ell)$, отримане після обробки схематичного зображення представницької області, показаної на Фіг.2, де ℓ довжина хорди в мкм.

На фігурі 4 представлено розподіл діаметрів зерен плоского зрізу $P(\delta)$, отримане в результаті першого етапу реконструкції, де δ діаметр зерна в мкм.

На фігурі 5 представлено розподіл діаметрів зерен в об'ємі $P(D)$, отримане в результаті другого етапу реконструкції, де D діаметр зерна в об'ємі в мкм.

Пропонований спосіб здійснюється таким чином.

Зразки шліфують, їх поверхні піддають травленню, одержують за допомогою металографічного мікроскопа видиме зображення зереної структури металу зразка і фотографують його.

Обробку отриманого видимого зображення зереної структури металу і реконструкцію структури здійснюють, наприклад, за допомогою комп'ютера, а як представницьку область виведеного на екран дисплея комп'ютера зображення зереної структури вибирають сукупність не менше трьох зерен, які межують друг з другом, на яку і наносять як групу паралельних рівновіддалених січних, так і перпендикулярну до неї - другу ідентичну їй групу січних, заміряючи довжини хорд, що утворилися від перерізу січними обох груп меж вибраної сукупності зерен, потім знаходять значення розподілу зміряних хорд в заданих інтервалах і проводять реконструкцію плоских

перерізів зерна шляхом рішення системи лінійних рівнянь виду:

$$P_k(\ell) = P_n(\delta) \frac{\sqrt{\delta_n^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_n^2 - \delta_k^2}}{\delta_n} + P_{n-1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{n-1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{n-1}} + \dots$$

$$\dots + P_{k+1}(\delta) \frac{\sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_{k-1}^2} - \sqrt{\delta_{k+1}^2 - \delta_k^2}}{\delta_{k+1}} + P_k(\delta) \frac{\sqrt{\delta_k^2 - \delta_{k-1}^2}}{\delta_k},$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;
 k - порядковий номер будь-який від 1 до n інтервалу вимірювань;

$P_k(\ell)$ - розподіл хорд на плоскому зрізі в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

$P_k(\delta)$ - знайдений при реконструкції розподіл плоских перерізів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

δ_k - діаметр зерна на плоскому зрізі, відповідний середині будь-якого k -того інтервалу вимірювань.

Потім здійснюють реконструкцію об'ємної структури металу шляхом рішення аналогічної системи лінійних рівнянь виду:

$$P_k(\delta) = P_n(D) \frac{\sqrt{D_n^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_n^2 - D_k^2}}{D_n} + P_{n-1}(D) \frac{\sqrt{D_{n-1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{n-1}^2 - D_k^2}}{D_{n-1}} + \dots$$

$$\dots + P_{k+1}(D) \frac{\sqrt{D_{k+1}^2 - D_{k-1}^2} - \sqrt{D_{k+1}^2 - D_k^2}}{D_{k+1}} + P_k(D) \frac{\sqrt{D_k^2 - D_{k-1}^2}}{D_k},$$

де: n - кількість інтервалів вимірювань;

$P_k(\delta)$ - розподіл плоских перерізів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань;

$P_k(D)$ - знайдений при реконструкції розподіл діаметрів зерен в будь-якому k -ому інтервалі вимірювань об'єму;

D_k - діаметр зерна в об'ємі, відповідний середині будь-якого k -того інтервалу вимірювань.

Після чого знаходять розподіл зерен в об'ємі і відповідні йому числові характеристики, визначальні основні параметри структури в об'ємі.

З труби розмірами 16 x 1 мм (сталь 08X18H10T) виготовили шліф, який для виявлення мікроструктури протравили в азотній кислоті і за допомогою металографічного мікроскопа MIM-7 отримали зображення структури на плоскому зрізі. Потім, вибравши представницьку область (Фіг.1), ввели це зображення в комп'ютер, нанесли на це зображення дві групи паралельних рівновіддалених друг від друга січних в двох взаємно перпендикулярних напрямках, зміряли довжини всіх отриманих хорд і обчислили розподіл їх по розмірних групах, кількість яких прийняли

$$\frac{\ell_{\max}}{10} = \frac{80}{10} = 8,$$

рівним 8, оскільки максимальний розмір хорди в даній сукупності відповідає 80 мкм.

Дані отриманих вимірів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№№ інтервалів k	Межі інтервалів $\ell_{\min} - \ell_{\max}$, мкм	Середина інтервалу ℓ_k , мкм	Загальний розподіл хорд $P_k(\ell)$
1	0-10	5	0,142
2	10-20	15	0,211
3	20-30	25	0,231
4	30-40	35	0,170
5	40-50	45	0,153
6	50-60	55	0,083
7	60-70	65	0,007
8	70-80	75	0,003

Приймаючи $\delta_1 = \ell_1 = 15 \dots \delta_n = \ell_n = 75$, складаємо систему n рівнянь. В нашому випадку $n = 8$; $k = 1, 2, 3 \dots 8$. Потім для знаходження

розподілу діаметрів зерен на плоскому зрізі (δ) складаємо наступну систему рівнянь:

№№ рівнянь	Система лінійних рівнянь
1 ($k = 1, n = 8$)	$0,142 = \frac{P_8(\delta)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 0^2} - \sqrt{75^2 - 5^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(\delta)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 0^2} - \sqrt{65^2 - 5^2} \right) + \dots + \frac{P_1(\delta)}{5} \sqrt{5^2 - 0^2};$
2 ($k = 2, n = 8$)	$0,211 = \frac{P_8(\delta)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 5^2} - \sqrt{75^2 - 15^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(\delta)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 5^2} - \sqrt{65^2 - 15^2} \right) + \dots + \frac{P_2(\delta)}{15} \sqrt{15^2 - 5^2}$
...	...
5 ($k = 5, n = 8$)	$0,153 = \frac{P_8(\delta)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 35^2} - \sqrt{75^2 - 45^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(\delta)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 35^2} - \sqrt{65^2 - 45^2} \right) + \dots + \frac{P_5(\delta)}{45} \sqrt{45^2 - 35^2};$
...	...

$\frac{8}{k = n = 8}$	$0,003 = \frac{p_8(\delta)}{75} \sqrt{75^2 - 65^2}$
-----------------------	---

Вирішуючи систему рівнянь, наприклад, за допомогою комп'ютера, проводять реконструкцію плоских перерізів зерна і одержують розподіл діаметрів зерен на плоскому зрізі, який є почат-

ковим для подальшої реконструкції розподілу діаметрів зерен в об'ємі.

Отримані результати реконструкції наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

№№ інтервалів k	Межі інтервалів $\delta_{\min} - \delta_{\max}$ мкм	Середина інтервалу, δ_k мкм	Розподіл діаметрів плоского зрізу $P_k(\delta)$
1	0-10	5	0,126
2	10-20	15	0,154
3	20-30	25	0,207
4	30-40	35	0,160
5	40-50	45	0,197
6	50-60	55	0,139
7	60-70	65	0,012
8	70-80	75	0,005

Приймаючи $D_1 = \delta_1 = 5$ мкм; $D_2 = \delta_2 = 15$ мкм
... $D_n = \delta_n = 75$ мкм $n = 8$; $k = 1, 2, 3 \dots 8$ складаємо

систему рівнянь, необхідну для реконструкції об'ємної структури металу:

№№ рівнянь	Система лінійних рівнянь
1 (k=1, n=8)	$0,126 = \frac{P_8(D)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 0^2} - \sqrt{75^2 - 5^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(D)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 0^2} - \sqrt{65^2 - 5^2} \right) + \dots + \frac{P_1(D)}{5} \sqrt{5^2 - 0^2};$
2 (k=2, n=8)	$0,154 = \frac{P_8(D)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 5^2} - \sqrt{75^2 - 15^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(D)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 5^2} - \sqrt{65^2 - 15^2} \right) + \dots + \frac{P_2(D)}{15} \sqrt{15^2 - 5^2}$
...	...
5 (k=5, n=8)	$0,197 = \frac{P_8(D)}{75} \left(\sqrt{75^2 - 35^2} - \sqrt{75^2 - 45^2} \right) +$ $+ \frac{P_7(D)}{65} \left(\sqrt{65^2 - 35^2} - \sqrt{65^2 - 45^2} \right) + \dots + \frac{P_5(D)}{45} \sqrt{45^2 - 35^2};$
...	...
8 (k=n=8)	$0,005 = \frac{P_8(D)}{75} \sqrt{75^2 - 65^2}$

Вирішуючи цю систему рівнянь, наприклад, за допомогою комп'ютера, одержуємо розподіл діаметрів зерен в об'ємі і проводимо обчислення всіх параметрів структури на лінії (по хордах ℓ),

на площині (по діаметрах плоского зрізу δ) і в об'ємі (по діаметрах D). Всі дані представляють у вигляді таблиць 3, 4, 5.

Таблиця 3

Лінійні перерізи меж зерен плоского зрізу (початкові дані по хордах)

Загальна кількість перерізів, шт.	5711
Середній розмір хорди, мкм	27,68
Середньоквадратичне відхилення, мкм	15,49
Коефіцієнт варіації	0,56
Модальний розмір, мкм	25,0

Таблиця 4

Реконструкція структури плоского зрізу

Середній діаметр плоского зрізу, мкм	31,35
Середньоквадратичне відхилення, мкм	16,58
Коефіцієнт варіації	0,53
Модальний розмір, мкм	25,0

Таблиця 5

Реконструкція структури в об'ємі

Середній діаметр зерна в об'ємі, мкм	35,88
Середньоквадратичне відхилення, мкм	17,47
Коефіцієнт варіації	0,49
Модальний розмір, мкм	55,0

Точність пропонованого способу визначення параметрів структури в порівнянні з найближчим з аналогів підвищилася в декілька десятків разів, оскільки тільки за рахунок вимірювання параметрів багатьох зерен замість одного, як в найближчому із аналогів. Крім того, збільшення об'єму

представницької області і дозволяє підвищити точність статистичної обробки і надає більш широкі можливості отримання інших параметрів зерної структури. На підставі цих даних отримані наступні параметри структури металу, наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

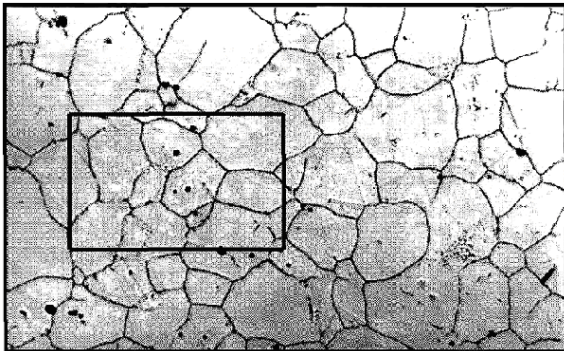
Параметри структури	Пропонований спосіб
Середній розмір хорди, мкм	27,68
Середньоквадратичне відхилення від середнього розміру хорди, мкм	15,49
Коефіцієнт варіації розподілу розмірів хорд	0,56
Середній діаметр плоского зрізу, мкм	31,35
Середньоквадратичне відхилення від середнього діаметра плоского зрізу, мкм	16,58
Коефіцієнт варіації розподілу діаметрів плоского зрізу	0,53
Середній розмір діаметра зерна в об'ємі, мкм	35,88
Середньоквадратичне відхилення від середнього діаметра зерна в об'ємі, мкм	17,47
Коефіцієнт варіації розподілу діаметрів зерен в об'ємі	0,49
Максимальний розмір зерна, мкм	80,00
Кількість зерен в 1мм ² шліфа, шт.	888
Кількість зерен в 1мм об'єму зразка, шт.	26461
Коефіцієнт асиметрії структури	0,94
Чинник форми зерен	0,86
Середня площа зерен, мкм ²	1134,15
Середній периметр зерен, мкм	118,68
Номер зерна за стандартом ГОСТ 5639	7

Підстановка значень діаметрів плоских перерізів більше або менше значень, отриманих з математичних виразів, заявлених рівнянь реконструкції, приводить до збільшення погрішності визначення параметрів структури металу.

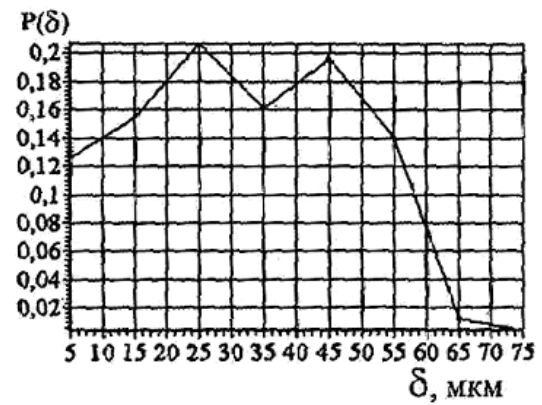
Використання способу найближчого з аналогів на тому ж плоскому зрізі (шліфі) навело до отримання середнього зерна в об'ємі

діаметром 43,7 мкм, що по ГОСТ 5639 відповідає номеру 6 і свідчить про явну погрішність способу.

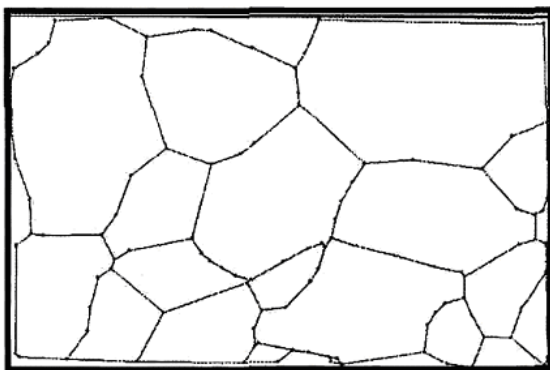
Таким чином застосування пропонованого способу в порівнянні з найближчими з аналогів дозволяє підвищити точність при одночасному розширенні технологічних можливостей способу визначення, що збільшує круг практичного його застосування при виборі режимів термічної обробки виробу.



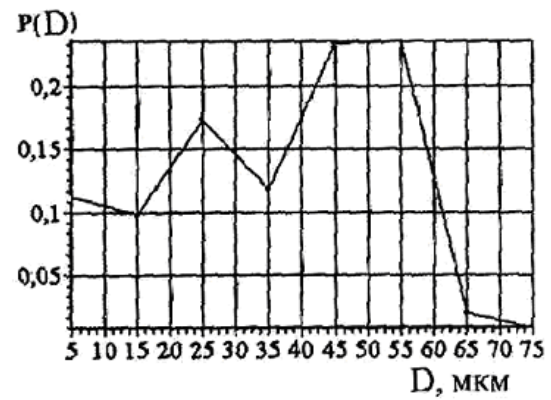
Фиг. 1



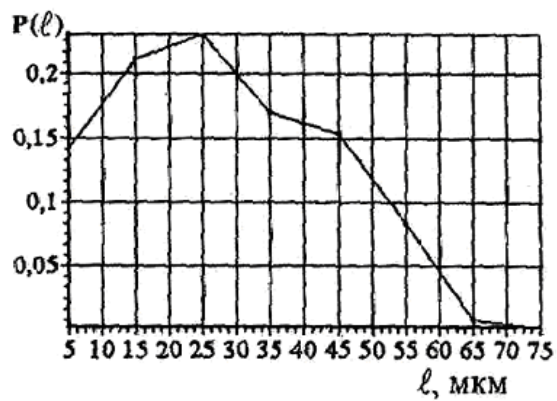
Фиг. 4



Фиг. 2



Фиг. 5



Фиг. 3