



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ПРОКАТ ЛИСТОВИЙ ІЗ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

Металографічний метод оцінювання
мікроструктури

ДСТУ 7214:2011

Видання офіційне

БЗ № 4–2011/444



Київ
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ
2014

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Випробувальний центр «УкрНДІМет» УкрДНТЦ «Енергосталь», ВАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»

РОЗРОБНИКИ: **І. Михайлова**, канд. техн. наук (науковий керівник); **О. Удовенко**

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 1 лютого 2011 р. № 35

3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.
Відтворювати, тиражувати та розповсюджувати його повністю чи частково
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено.
Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Держспоживстандарту України

Держспоживстандарт України, 2014

ЗМІСТ

	с.
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	1
4 Готування зразків для випробовування	2
5 Обладнання	2
6 Випробовування	2
7 Опрацювання результатів	4
8 Протокол випробування	4
Додаток А Шкала смугастості феритно-бейнітної структури.....	6
Додаток Б Стандартна методика оцінювання ступеня смугастості або орієнтації мікроструктур	9
Додаток В Бібліографія.....	16

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ПРОКАТ ЛИСТОВИЙ ІЗ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ
Металографічний метод оцінювання мікроструктури
ПРОКАТ ЛИСТОВОЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ
Металлографические методы оценивания микроструктуры
LOU-ALLOY STEEL SHEET PRODUCTS
Metallographic analysis of microstructure

Чинний від 2012-01-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Цей стандарт установлює металографічні методи оцінювання смугастості феритно-перлітної та феритно-бейнітної структури листового прокату з низьколегованих сталей.

1.2 Металографічні методи оцінювання смугастості поділяють на такі:

- **метод 1:** візуальне порівняння мікроструктури, що видима під мікроскопом, з еталонними шкалами і визначання бала смугастості;
- **метод 2:** оцінювання смугастості як ступеня орієнтації площинно орієнтованих систем поверхонь методом спрямованих січних, за допомогою підрахування всіх точок перетинання ліній випробної сітки із межовими лініями структури і визначанням ступеня площинної орієнтації $\alpha_{пл}$;
- **метод 3:** оцінювання смугастості за допомогою підрахування кількості характерних перетинань і характерних перехоплень межових ліній структури лініями випробної сітки з визначанням індексу анізотропії A_1 і ступеня орієнтації частково орієнтованих лінійних структурних елементів на двовимірній площині шліфа Ω_{12} .

1.3 Метод 3 відповідає ASTM E1268-01 і його застосовують під час контролювання продукції, яку постачають на експорт за межі СНД (див. додаток Б). При цьому арбітражні методи треба визначити у договорах на постачання продукції.

1.4 Застосовування методів для випробовування листового прокату, а також норми смугастості встановлюють у стандартах або інших нормативних документах і технічній документації на конкретну продукцію, затверджених у встановленому порядку.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ ISO 4885-2002 Продукція чорної металургії. Термічне оброблення. Словник термінів (ISO 4885:1996, IDT)

ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и лент (Сталь. Металографічний метод оцінювання мікроструктури листів та стрічок).

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Нижче подано терміни, вжиті в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять.

3.1 питома поверхня

Площа межових поверхонь фаз двофазної або багатофазної структури або межових поверхонь зерен однофазної структури в одиниці об'єму сплаву

3.2 орієнтована структура

Структура, в якій межові поверхні зерен або фаз частково або повністю паралельні визначеній лінії (лінійно орієнтована система) або площині (площинно орієнтована система), названа віссю або площиною орієнтації (структура анізотропна)

3.3 ступінь площинної орієнтації

Відношення площі орієнтованих межових поверхонь до площі всіх межових поверхонь, виражене у відсотках

3.4 ізометричні поверхні

Поверхні зерен або фаз в ізотропній (неорієнтованій) структурі.

Терміни «смугаста мікроструктура» і «бейнітна структура» та відповідні їм визначення понять наведено у ДСТУ ISO 4885.

4 ГОТУВАННЯ ЗРАЗКІВ ДЛЯ ВИПРОБОВУВАННЯ

4.1 Оцінювання мікроструктури виконують на мікрошліфах. Розміри мікрошліфів визначають з урахуванням того, що ширина зразка має дорівнювати товщині листа, якщо вона не більше ніж 30 мм, а довжина становити не менше ніж 40 мм. За товщини прокату більше ніж 30 мм зразок має мати розміри 30 мм × 40 мм. Зразки для мікрошліфів вирізують холодним механічним способом так, щоб їхня площина збігалася з напрямком волокон (зразки повинні бути поздовжніми). Місце вирізування і кількість зразків від партії повинні бути установлені відповідними стандартами і нормативними документами на продукцію.

4.2 Спосіб виготовлення мікрошліфів спеціально не регламентовано. Для видалення наклепаного шару від механічної обробки виконують повторне полірування.

4.3 Виявлення структури металу здійснюють травленням полірованої поверхні мікрошліфа одним з таких реактивів:

- 4-відсотковий розчин азотної кислоти в етиловому спирті;
- 4-відсотковий розчин пікринової кислоти в етиловому спирті.

4.4 Оцінювання мікроструктури виконують на поздовжніх зразках по всій товщині листа, не враховуючи поверхневого шару завглибшки від 9 % до 10 % товщини листа з обох поверхонь і вісну зону.

5 ОБЛАДНАННЯ

Для досліджування мікроструктури використовують металографічний мікроскоп під час роботи у відбитому світлі у світлому полі.

6 ВИПРОБОВУВАННЯ

6.1 Метод 1: візуальне порівняння мікроструктури, що видима під мікроскопом, з еталонними шкалами і визначання бала смугастості.

6.1.1 Ідентифікацію і оцінювання смугастості в низьколегованих сталях з феритно-перлітною структурою виконують за шкалою 3 ГОСТ 5640 (таблиця 3 додатка 1 і шкала 3 додатка 2).

6.1.2 Ідентифікацію і оцінювання смугастості низьколегованих сталей з феритно-бейнітною структурою виконують за шкалою цього стандарту (таблиця 1 і додаток А). Стандартний розмір фотоеталона шкали додатка А становить 90 мм × 120 мм.

Визначення смугастості методом порівняння з еталонними шкалами цього стандарту виконують за збільшення мікроскопа 200^x.

6.1.3 Шкала для оцінювання смугастості в структурі низьколегованих сталей з феритно-бейнітною структурою побудована за принципом зростання кількості бейнітних смуг з урахуванням рівновісності й ступеня щільності феритних смуг.

Ряд А призначений для оцінювання смугастості в сталі з вмістом вуглецю до 0,15 %.

Ряд Б призначений для оцінювання смугастості в сталі з вмістом вуглецю від 0,15 % до 0,30 %.

У таблиці 1 наведено описи мікроструктур за балами цієї шкали.

6.1.4 Оцінювання смугастості здійснюють за допомогою порівняння мікроструктури випробного зразка з еталонами відповідних шкал. За результат оцінювання беруть найбільший бал смугастості, який спостерігають не менше ніж у трьох місцях по всій товщині листа без урахування поверхневого шару завглибшки від 9 % до 10 % товщини листа з обох поверхонь та вісної зони.

6.1.5 Розбіжність між результатами паралельного оцінювання смугастості методом порівняння має становити не більше ніж один бал.

Таблиця 1 — Шкала смугастості феритно-бейнітної структури

Номер бала	Опис мікроструктури	
	Ряд А	Ряд Б
0	Рівновісні й деформовані зерна фериту і невелика кількість бейніту з повною відсутністю смугастості	Рівномірна феритно-бейнітна структура з повною відсутністю смугастості
1	Загальне орієнтування структури в напрямку деформації без чітко виражених смуг і одна-дві смуги бейнітної структури, що проходять через все поле зору	Загальне орієнтування структури в напрямку деформації без чітко виражених смуг і одна-дві смуги бейнітної структури, що проходять через все поле зору
2	Одна-дві розірвані смуги деформованих зерен фериту й дві-п'ять смуг бейнітної структури, що проходять через все поле зору, на фоні рівновісних і деформованих зерен фериту, що не утворюють смуги	Одна-дві розірвані смуги деформованих зерен фериту, що чергуються з бейнітними смугами на фоні рівновісних зерен фериту, що не утворюють смуги
3	Декілька смуг з бейнітною структурою й кілька смуг деформованих і рівновісних зерен фериту на фоні рівновісних і деформованих зерен, що не утворюють смуги	Чергування феритних смуг, що утворені з деформованих і рівновісних феритних зерен і смуг з бейнітною структурою
4	Чергування смуг з бейнітною структурою й смуг з деформованих і рівновісних зерен фериту	Рівномірне чергування феритних і бейнітних смуг, що складаються переважно з деформованих зерен

6.2 Метод 2: оцінювання смугастості як ступеня орієнтації площинно орієнтованих систем поверхонь методом спрямованих січних.

6.2.1 Поверхні меж зерен або фаз у листовому прокаті орієнтовані двояко: паралельно площині деформації — площинно орієнтовані поверхні зерен або фаз і такі, що орієнтовані безладно відносно площини деформації — ізометричні поверхні.

Метод полягає у підрахуванні точок перетинань ліній випробної сітки із межовими лініями структури — межами зерен або фаз, які утворюють смуги, паралельні площині деформації, з визначенням ступеня площинної орієнтації $\alpha_{пл}$.

6.2.2 Зразок, підготовлений відповідно до вимог розділу 4, розміщують на столику мікроскопа, вибирають необхідне збільшення в інтервалі від $100\times$ до $200\times$ і досліджують мікроструктуру. Зразок розміщують так, щоб напрямок деформації на проекційному екрані розташовувався горизонтально. Досліджувану зону обирають довільним переміщенням столика мікроскопа так, щоб спостереження кожного нового поля зору здійснювати без додаткового налаштування столика.

6.2.3 Випробовують способом накладання випробної сітки, яка складається з багатьох близько розташованих паралельних ліній-січних відомої довжини на проектоване на екран зображення мікроструктури або на мікрофотознімок. Істинна сумарна довжина ліній випробної сітки повинна становити не менше ніж 500 мкм.

Примітка. Істинна довжина — це довжина ліній випробної сітки, у міліметрах, поділена на збільшення мікроскопа.

6.2.4 Вимірювання проводять за паралельного і перпендикулярного розташування січних ліній сітки відносно напрямку деформації.

6.2.5 Випробну сітку розташовують паралельно площині деформації, вибирають фазу для підрахування. Підраховують всі точки перетинання ліній випробної сітки із межовими лініями структури (межами зерен, фаз або смуг). Число m_{\parallel} , що дорівнює середній кількості перетинань, визначають за формулою:

$$m_{\parallel} = \frac{X_{\parallel}}{L}, \quad (1)$$

де X_{\parallel} — загальна кількість підрахованих точок (перетинань) паралельно площині деформації;
 L — істинна сумарна довжина випробної лінії сітки, тобто сумарна довжина випробних ліній, поділена на збільшення мікроскопа.

6.2.6 Випробну сітку розташовують перпендикулярно до площини деформації і підраховують всі точки перетинання ліній випробної сітки із межами зерен, фаз або смуг. Середню кількість перетинань m_{\perp} обчислюють за формулою:

$$m_{\perp} = \frac{X_{\perp}}{L}, \quad (2)$$

де X_{\perp} — загальна кількість підрахованих точок (перетинань) перпендикулярно до площини деформації.

6.2.7 Вимірювання m_{\parallel} і m_{\perp} повторюють у кількох, наприклад у п'яти, полях зору. Якщо стан смугастості істотно змінюється по перерізу листа, то вимірювання окремо проводять у підповерхневій і вісній зонах листа або в інших місцях, установлених у стандартах на продукцію.

6.2.8 Ступінь площинної орієнтації $\alpha_{пл}$ визначають за формулою:

$$\alpha_{пл} = \frac{(m_{\perp} - m_{\parallel})}{(m_{\perp} + m_{\parallel})} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

6.2.9 Для випробування смугастих мікроструктур можна використовувати напівавтоматичний або автоматичний аналізатор зображення.

6.2.10 Для оцінювання смугастості у двофазній або багатофазній структурі визначають, яка фаза є смугастою. Якщо обидві фази є смугастими і немає явно вираженої матричної фази, для підрахування вибирають одну з фаз. У загальному випадку обрахуванню підлягає фаза, що робить основний внесок в анізотропію властивостей. Досліджувані поля зору повинні бути рівномірно розташовані по всій площі шліфа.

7 ОПРАЦЬОВУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

7.1 Відносну похибку $\varepsilon_{від}$ визначення числа m , виражену у відсотках, розраховують залежно від загальної кількості підрахованих точок перетинання X за формулою:

$$\varepsilon_{від} = \frac{K \cdot t}{\sqrt{X}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

де t — нормований відхил;

K — коефіцієнт, що залежить від рівномірності розподілу точок перетинання ліній випробної сітки з елементами структури уздовж цих ліній і площі випробної поверхні.

У разі випробування всієї площі шліфа коефіцієнт K дорівнює одиниці.

7.2 У таблиці 2 наведено значення нормованого відхилу t для відповідних значень довірчої імовірності P .

Таблиця 2 — Нормований відхил t , що відповідає довірчій імовірності P , що визначена

Довірча імовірність, P	0,5 50 %	0,6 60 %	0,7 70 %	0,8 80 %	0,9 90 %	0,95 95 %
Нормований відхил, t	0,674	0,842	1,067	1,281	1,645	1,960

8 ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАННЯ

8.1 Протокол випробування має містити інформацію, що дозволяє однозначно ідентифікувати випробні зразки:

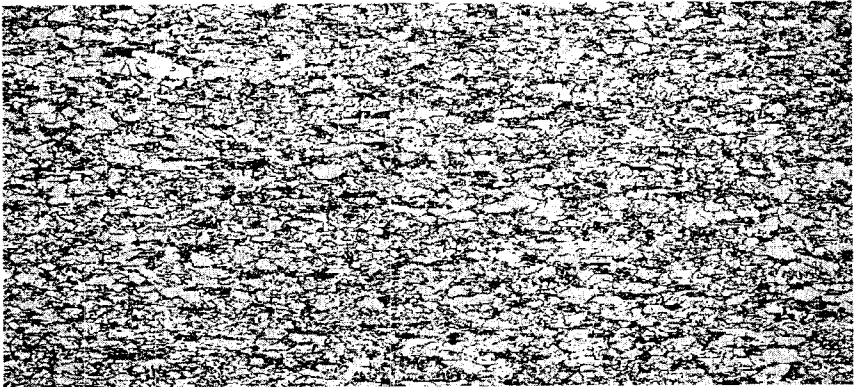
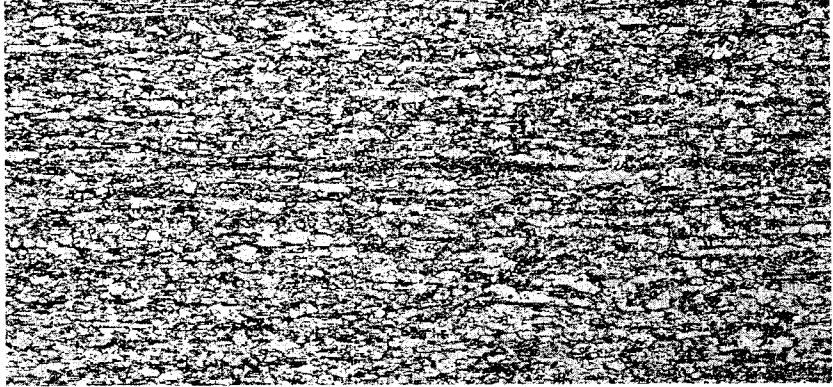
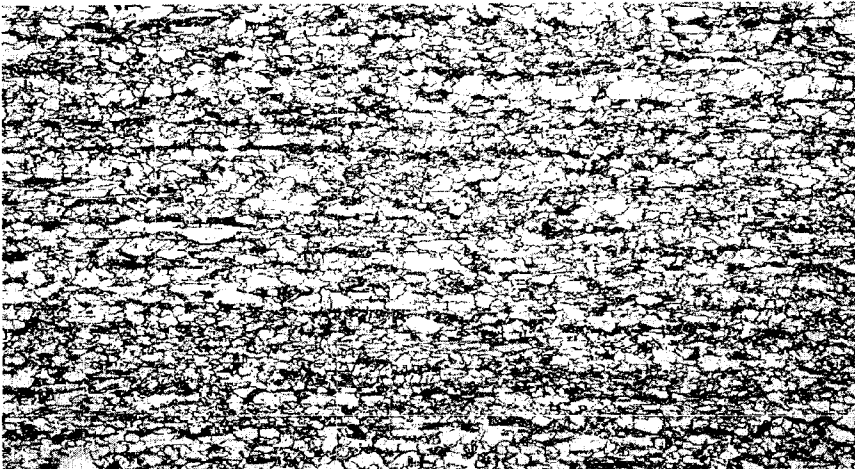
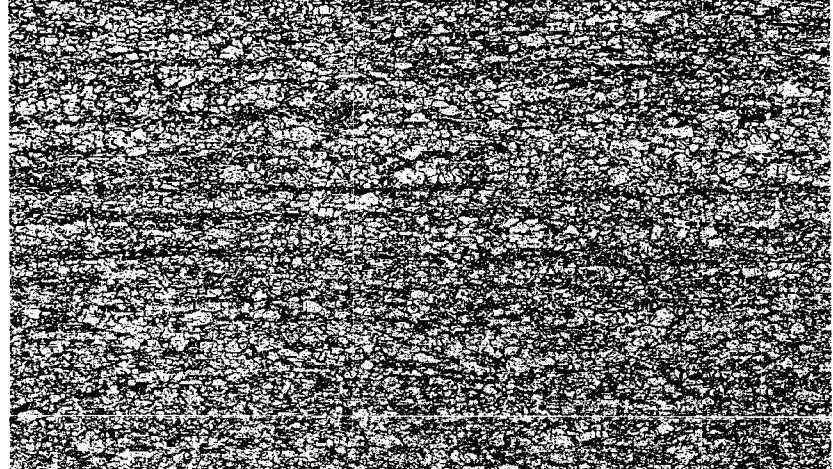
— посилання на цей стандарт як методику виконання випробувань;

- вид продукції, від якої відібрані зразки;
- замовника випробування;
- кількість полів зору, що вимірювали;
- тип і ступінь смугастості або орієнтації структури;
- результати та похибки вимірювань;
- висновок;
- дату випробування;
- прізвище та підпис оператора.

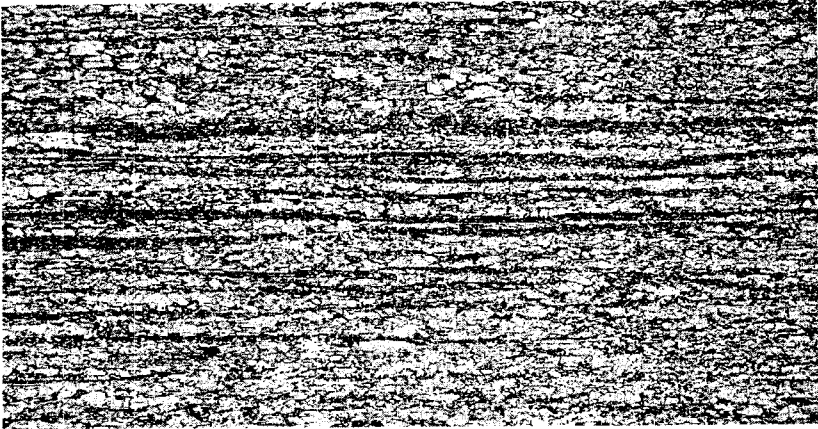
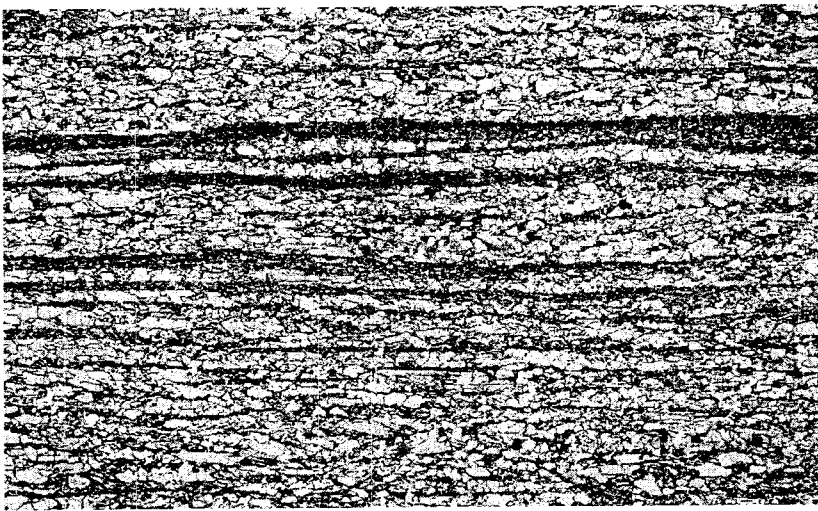
8.2 У разі користування шкалами цього стандарту в протоколах за результатами випробувань необхідно зазначати номер бала і літерну позначку ряду, наприклад 1А, 3Б тощо.

ШКАЛА СМУГАСТОСТІ ФЕРИТНО-БЕЙНІТНОЇ СТРУКТУРИ

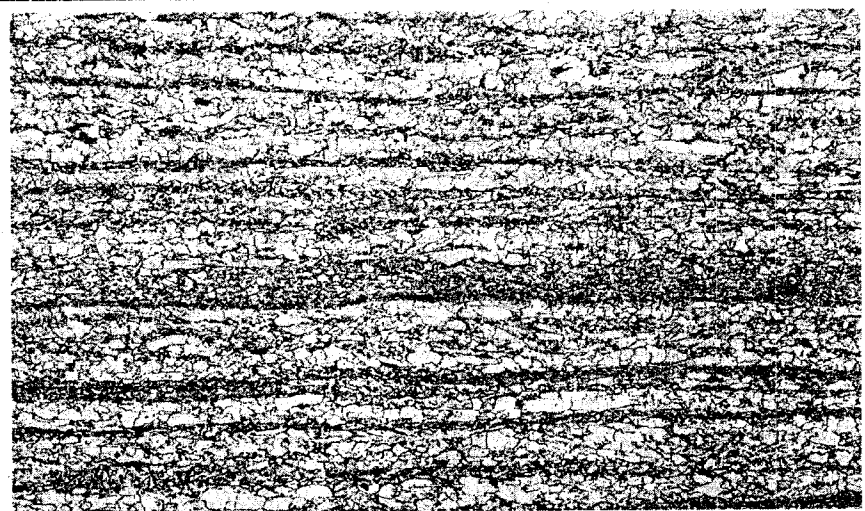
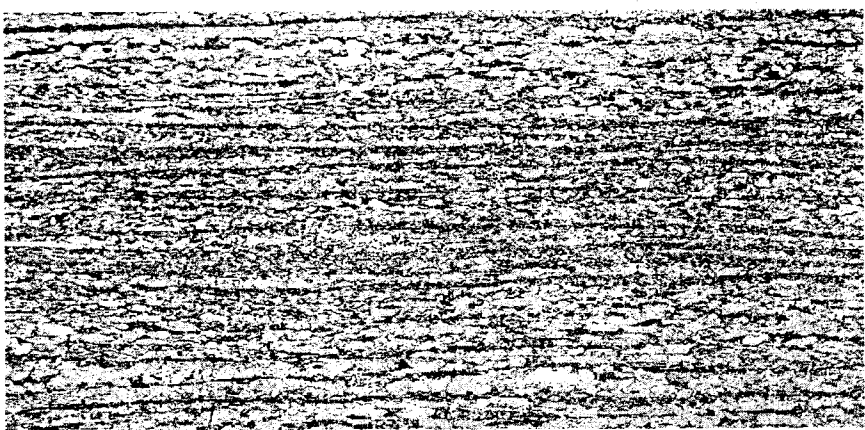
Таблиця А.1

Ряд	Бал 0	Бал 1
А		
Б		

Продовження таблиці А.1

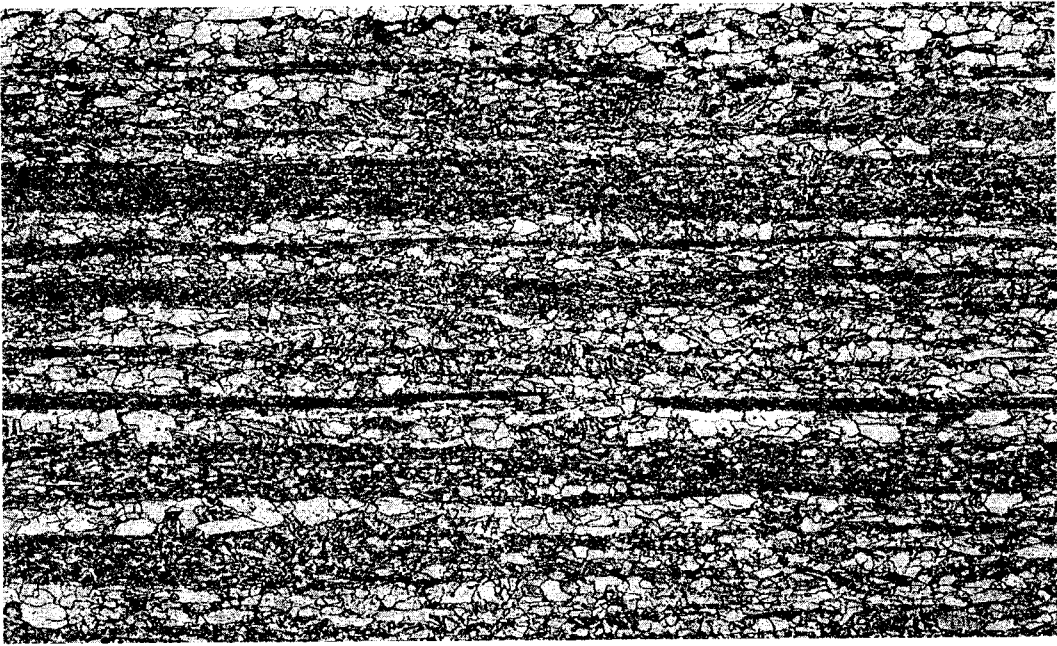
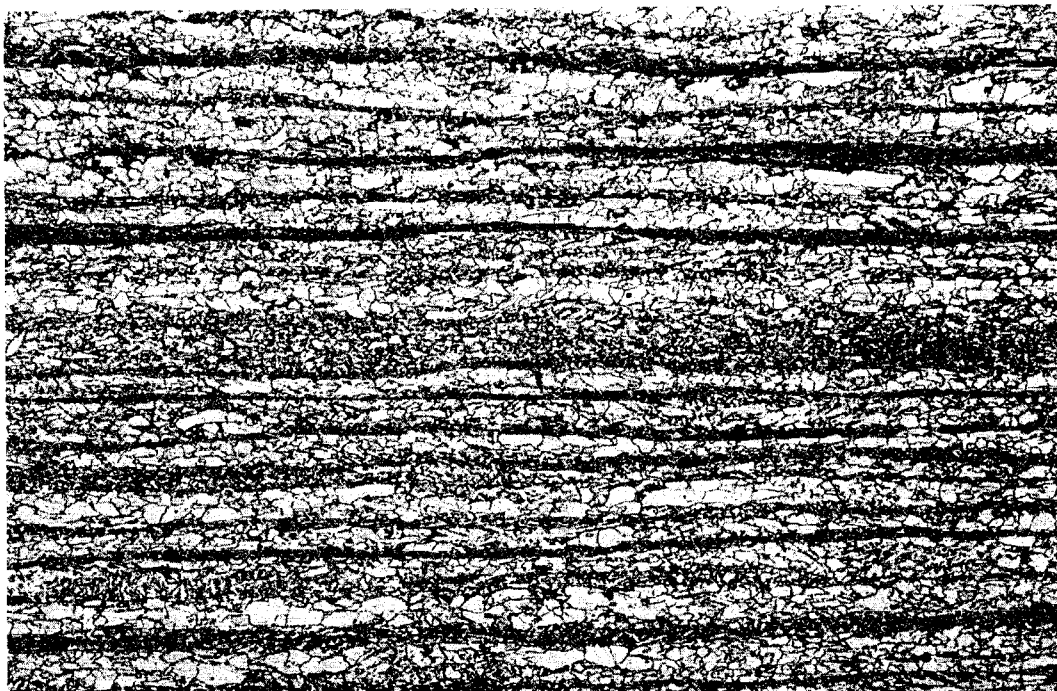
Ряд	Бал 2
А	 A black and white photograph showing a close-up view of a gravel surface. The gravel consists of small, irregularly shaped stones of varying sizes, densely packed together. The texture is rough and granular.
Б	 A black and white photograph showing a close-up view of a gravel surface, similar to the one in row A. The gravel consists of small, irregularly shaped stones of varying sizes, densely packed together. The texture is rough and granular.

Бан 3



ДСТУ 7214:2011

Кінець таблиці А.1

Ряд	Бал 4
А	
Б	

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)СТАНДАРТНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ
СМУГАСТОСТІ АБО ОРІЄНТАЦІЇ МІКРОСТРУКТУР

Ця методика є тотожний переклад розділів ASTM E1268-01, які безпосередньо стосуються методики вимірювання ступеня смугастості, оскільки цей стандарт поширюється на листовий прокат і встановлює методи оцінювання смугастості.

Б.1 Терміни та визначення понять, специфічні для цієї методики**Б.1.1 характерні перехоплення (*feature interceptions*)**

Кількість часток досліджуваної фази, що утворює смуги, які перетинаються лініями випробної сітки (рисунок Б.1)

Б.1.2 характерні перетинання (*feature intersections*)

Кількість меж між матричною й досліджуваною фазами, що утворюють смуги, які перетинаються лініями випробної сітки (рисунок Б.1). Для ізольованих часток у матриці кількість характерних перетинань дорівнює подвоєній кількості характерних перехоплень

Б.1.3 стереологічні методи

Процедури, що використовують для визначання тривимірних мікроструктурних особливостей на основі вимірювань, проведених на двовимірних січних площинах.

Б.2 Символи

N_{\perp} — кількість характерних перехоплень випробними лініями, перпендикулярними до напрямку деформації;

N_{\parallel} — кількість характерних перехоплень випробними лініями, паралельними напрямку деформації;

P_{\perp} — кількість характерних перетинань меж із випробними лініями, перпендикулярними до напрямку деформації;

P_{\parallel} — кількість характерних перетинань меж із випробними лініями, паралельними напрямку деформації;

M — збільшення мікроскопа;

L_t — істинна довжина випробної лінії, в міліметрах, тобто довжина випробної лінії, поділена на збільшення мікроскопа:

$$N_{L\perp} = \frac{N_{\perp}}{L_t}, \quad N_{L\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{L_t}, \quad (\text{Б.1})$$

$N_{L\perp}$ — кількість характерних перехоплень випробними лініями, перпендикулярними до напрямку деформації, на одиницю довжини випробної лінії;

$N_{L\parallel}$ — кількість характерних перехоплень випробними лініями, паралельними напрямку деформації, на одиницю довжини випробної лінії.

$$P_{L\perp} = \frac{P_{\perp}}{L_t} \cong 2 N_{L\perp}, \quad P_{L\parallel} = \frac{P_{\parallel}}{L_t} \cong 2 N_{L\parallel}, \quad (\text{Б.2})$$

$P_{L\perp}$ — кількість характерних перетинань меж із випробними лініями, перпендикулярними до напрямку деформації, на одиницю довжини випробної лінії;

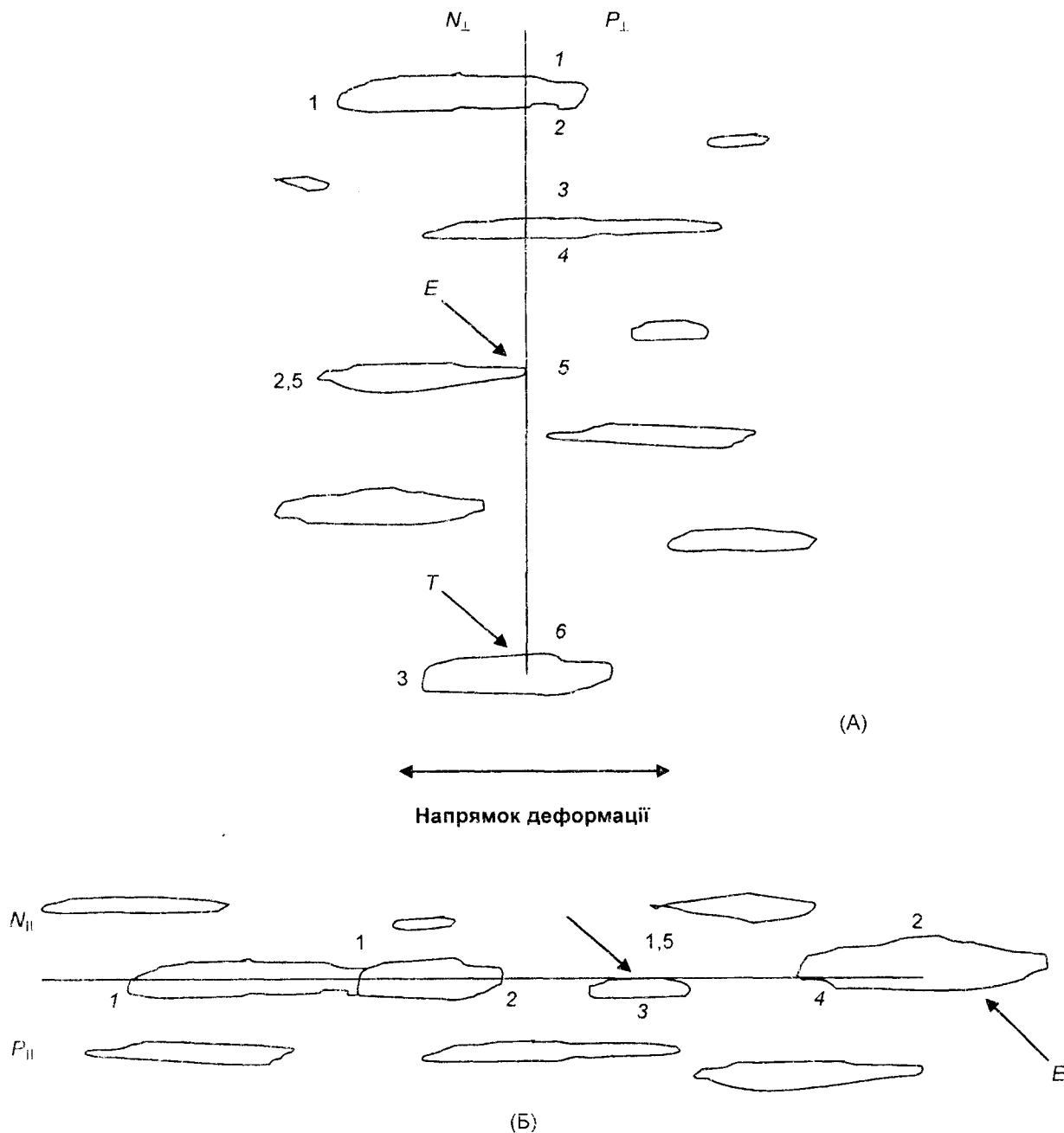
$P_{L\parallel}$ — кількість характерних перетинань меж із випробними лініями, паралельними напрямку деформації, на одиницю довжини випробної лінії;

$$N_{L\perp}^- = \frac{\sum N_{L\perp}}{n}, \quad N_{L\parallel}^- = \frac{\sum N_{L\parallel}}{n}, \quad (\text{Б.3})$$

$$P_{L\perp}^- = \frac{\sum P_{L\perp}}{n} \cong 2 \cdot N_{L\perp}^-, \quad P_{L\parallel}^- = \frac{\sum P_{L\parallel}}{n} \cong 2 \cdot N_{L\parallel}^-, \quad (\text{Б.4})$$

\bar{X} — середні значення ($N_{L\perp}^-$, $N_{L\parallel}^-$, $P_{L\perp}^-$, $P_{L\parallel}^-$);

n — кількість полів вимірювання;



Примітка 1. Лінії випробної сітки показані орієнтованими перпендикулярно (А) до напрямку деформації і паралельно (Б) напрямку деформації. Рахування N_{\perp} , N_{\parallel} , P_{\perp} і P_{\parallel} показане для напрямку рахування зверху вниз (А) і зліва направо (Б).

Примітка 2. Точки T на рисунку Б.1(А) та E на рисунку Б.1 (Б) ілюструють випадок, коли випробна лінія закінчується усередині досліджуваної фази. Точка E на рисунку Б.1(А) показує дотик випробної лінії до досліджуваної фази.

Рисунок Б.1 — Ілюстрація підрахування захоплень часток (N) і перетинань меж (P) для орієнтованих мікроструктур

- S — стандартний відхил;
- t — множник, пов'язаний із кількістю досліджуваних полів, який використовують у поєднанні зі стандартним відхилом вимірювання для визначання 95 % СІ (довірчого інтервалу);
- 95 % СІ — 95 % довірчий інтервал:

$$95 \% \text{ СІ} = \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}, \tag{Б.5}$$

RA — відносна похибка вимірювання, у відсотках:

$$RA = \frac{95\% CI}{\bar{X}} \cdot 100\%, \quad (Б.6)$$

SB_1 — середня відстань між смугами (від центра до центра):

$$SB_1 = \frac{1}{N_{L\perp}}, \quad (Б.7)$$

V_v — об'ємна частка смугастої фази;

λ_1 — середня відстань від краю до краю смуг, середній вільний шлях:

$$\lambda_1 = \frac{1 \cdot V_v}{N_{L\perp}}, \quad (Б.8)$$

AI — індекс анізотропії:

$$AI = \frac{N_{L\perp}^-}{N_{L\parallel}^-} = \frac{P_{L\perp}^-}{P_{L\parallel}^-}, \quad (Б.9)$$

Ω_{12} — ступінь орієнтації частково орієнтованих лінійних структурних елементів на двовимірній площині шліфа:

$$\Omega_{12} = \frac{N_{L\perp}^- - N_{L\parallel}^-}{N_{L\perp}^- + 0,571 N_{L\parallel}^-}, \quad \Omega_{12} = \frac{P_{L\perp}^- - P_{L\parallel}^-}{P_{L\perp}^- + 0,571 P_{L\parallel}^-}. \quad (Б.10)$$

Б.3 Апаратура

Б.3.1 Апаратура — відповідно до 5.5.

Б.4 Об'єкти випробування

Б.4.1 Об'єкти випробування — відповідно до розділу 5.

Б.5 Процедура

Б.5.1 Полірований і протравлений зразок поміщають на столик мікроскопа, вибирають відповідне низьке збільшення, наприклад в інтервалі від $50\times$ до $200\times$, і досліджують мікроструктуру. Зразок розміщують так, щоб напрямок деформації був розташований горизонтально на проекційному екрані.

Досліджувану зону вибирають довільно способом відповідного переміщення столика так, щоб спостереження кожного нового поля зору здійснювати без додаткового налаштування столика.

Б.5.2 Світле поле використовують для більшості вимірювань. Однак залежно від сплаву або матеріалу, який випробовують, можна використовувати інші режими освітлювання, такі як поляризоване світло або освітлення з диференціальним інтерференційним контрастом.

Б.5.3 Вимірювання можна проводити розміщенням випробної сітки на мікрофотознімках, знятих від довільно обраних ділянок, за відповідних збільшень.

Б.5.4 Якісно визначають природу й ступінь смугастості або орієнтації, наявних у зразку, відповідно до схеми рисунка Б.2. Вибирають збільшення, необхідне для ідентифікації й класифікації наявних складників.

Б.5.5 Для оцінювання орієнтації або смугастості у двофазному або багатофазному зразку визначають, чи розташована друга фаза переважно в матричній фазі, або ж обидві фази розташовані однорідно і визначити матричну фазу неможливо (див. рисунок Б.2).

Б.5.6 Для двофазної або багатофазної мікроструктур визначають, чи є друга фаза смугастою або орієнтованою (див. рисунок Б.2).

Б.5.7 Лінії сітки поміщають на проекційне зображення або мікрознімок довільно обраного поля так, щоб лінії сітки були перпендикулярні до напрямку деформації. Не допускають зрушення сітки в процесі вимірювання. Визначають, яка з фаз є смугастою. Якщо обидві фази є смугастими і немає явно вираженої матричної фази, вибирають одну із цих фаз для підрахування. У загальному випадку краще обраховувати смугасту фазу, наявну в найменшій кількості. Кількість N_L , P_L або обидва значення (див. визначення Б.2) можна виміряти за допомогою орієнтованої сітки перпендикулярно до (\perp) і паралельно (\parallel) напрямку деформації, залежно від мети вимірювання.

Б.5.8 Вимірювання $N_{L\perp}$

Випробну сітку розташовують перпендикулярно до напрямку деформації і підраховують кількість смуг досліджуваної фази, захоплених випробними лініями, $N_{L\perp}$. Для двофазної структури підраховують всі захоплення досліджуваної фази, тобто ті, які дійсно є частиною смуг, і ті, які не є.

Рисунок Б.1 ілюструє процедуру підраховування, а у Б.5.12 наведено правила підраховування. Підраховують кількість захоплень на одиницю довжини випробної лінії, перпендикулярно до напрямку деформації, $N_{L\perp}$ за формулою:

$$N_{L\perp} = \frac{N_{\perp}}{L_t} \quad (\text{Б.11})$$

Символи $N_{L\perp}$, N_{\perp} , і L_t визначені у Б.2.

Б.5.9 Вимірювання $N_{L\parallel}$

Випробну сітку повертають і уміщують у те саме поле і положення, що й для вимірювання $N_{L\perp}$ так, щоб випробні лінії були орієнтовані паралельно напрямку деформації. Лінії сітки не орієнтують за якоюсь особливою деталлю мікроструктури. Підраховують кількість смуг або часток досліджуваної фази, захоплених випробними лініями $N_{L\parallel}$ (аналогічно описаному в Б.5.8), незалежно від того, є вони явно частиною смугастої зони чи ні. Кількість захоплень на одиницю довжини випробної лінії паралельно напрямку деформації, $N_{L\parallel}$, підраховують за формулою:

$$N_{L\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{L_t} \quad (\text{Б.12})$$

Символи $N_{L\parallel}$, N_{\parallel} , і L_t визначені у Б.2.

Б.5.10 Вимірювання $P_{L\perp}$

Випробну сітку розташовують перпендикулярно до напрямку деформації і підраховують кількість перетинів лініями сітки меж смуг або досліджуваних фаз, $P_{L\perp}$. Підраховують тільки точки перетину лініями випробної сітки меж, які відділяють смуги, або досліджувані фази одну від одної і не підраховують точки перетину меж усередині смуг або досліджуваної фази.

Дотичні покази приймають одним перетином. У Б.5.11 наведено правила підраховування, а рисунок Б.1 ілюструє процедуру підраховування. Кількість перетинів меж на одиницю довжини перпендикулярно до осі деформації, $P_{L\perp}$, підраховують за формулою:

$$P_{L\perp} = \frac{P_{\perp}}{L_t} \quad (\text{Б.13})$$

Символи $P_{L\perp}$, P_{\perp} і L_t визначені у Б.2.

Б.5.11 Вимірювання $P_{L\parallel}$

Випробну сітку повертають і уміщують у тому самому полі та положенні, у якому вимірюють $P_{L\perp}$, так, щоб лінії сітки орієнтувалися паралельно напрямку деформації, і підраховують кількість перетинів всіх меж смуги або досліджуваних фаз, $P_{L\parallel}$, лініями випробної сітки (аналогічно Б.5.10). Кількість перетинів із межами на одиницю довжини випробної лінії паралельно напрямку деформації, $P_{L\parallel}$, розраховують за формулою:

$$P_{L\parallel} = \frac{P_{\parallel}}{L_t} \quad (\text{Б.14})$$

Символи $P_{L\parallel}$, P_{\parallel} і L_t визначені у Б.2.

Б.5.12 Правила підраховування N -захоплень і P -перетинів

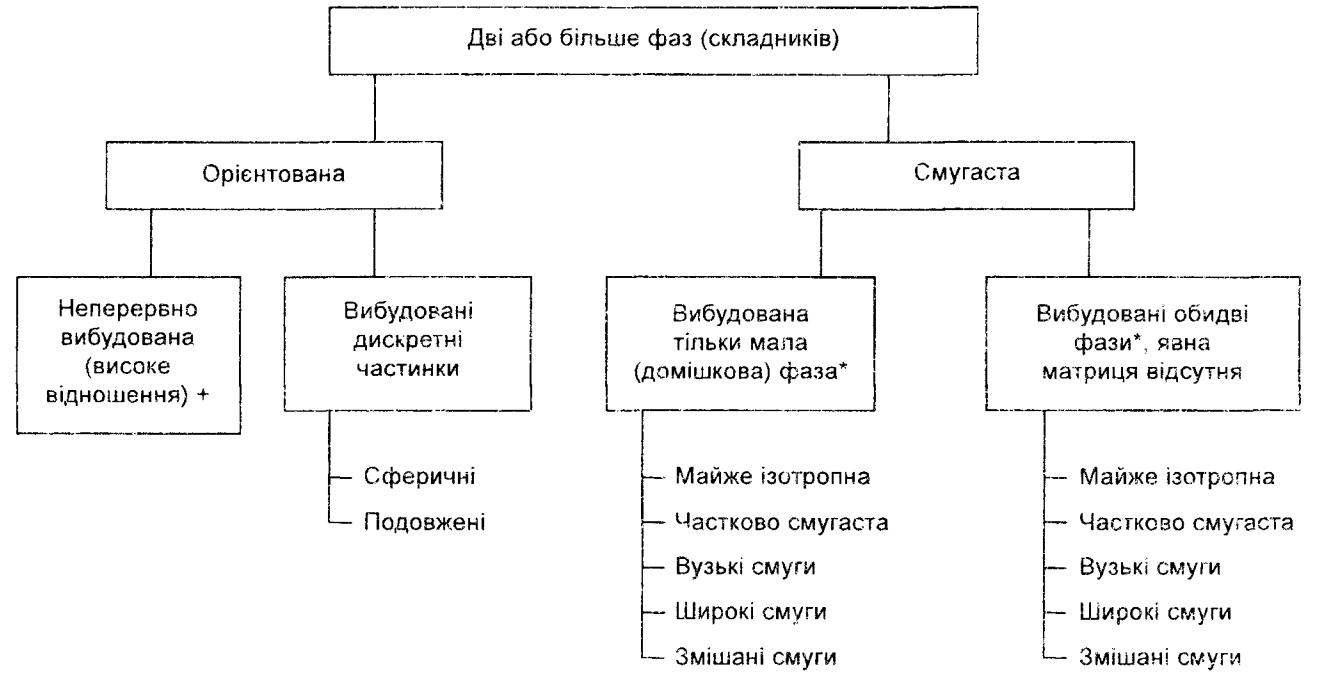
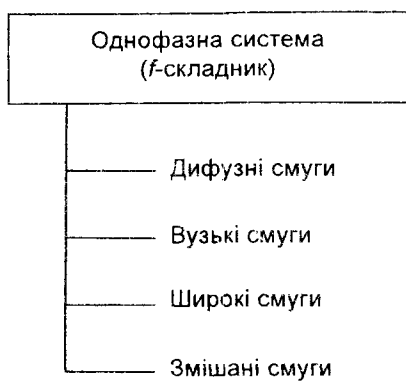
Б.5.12.1 N -захоплення

Підраховують кількість смуг або досліджуваних фаз, захоплених лініями випробної сітки.

Б.5.12.2 P -перетинів

Підраховують кількість точок перетинання смуг або досліджуваних фаз лініями випробної сітки.

Б.5.12.3 Якщо дві або більше дотичні частини досліджуваної фази перетинаються лініями випробної сітки (при цьому ніякі інші фази між цими частками не перетинаються лініями сітки), їх підраховують як одну захоплену частину ($N = 1$). Для вимірювання P -перетинів не рахують точки перетинів меж лініями випробної сітки усередині смуг або досліджуваних фаз.



+ — довжина /ширина
 * — або складник

Рисунок Б.2 — Схема якісної класифікації для орієнтованих або смугастих мікроструктур

Б.5.12.4 Якщо випробна лінія сітки дотична смуги або частини досліджуваної фази, N рахують як $\frac{1}{2}$, а P — як 1.

Б.5.12.5 Якщо випробна лінія закінчується усередині фази або смуги, N рахують як $\frac{1}{2}$, а P — як 1.

Б.5.12.6 Якщо вся випробна лінія повністю розташована усередині смуги або досліджуваної фази, N рахують як $\frac{1}{2}$, а P — як 0.

Примітка. На рисунку Б.1 показано деякі з цих правил підрахування.

Б.5.13 Ці вимірювання повторюють принаймні на п'яти полях зору на зразок. Кожне поле вибирають випадковою вибіркою. Якщо виявляють, що стан смугастості суттєво змінюється по подовжньому перетину, вимірювання можна провести в конкретних місцях по перетину, наприклад у підповерхневій зоні, в вісній зоні або в інших характерних місцях за товщиною листа.

Б.6 Опрацювання результатів

Б.6.1 Після того як бажану кількість полів зору n виміряно, розраховують середнє значення кожного вимірювання діленням суми вимірювань на n , щоб визначити середнє значення $N_{\perp}^{-}, N_{\parallel}^{-}, P_{\perp}^{-}, P_{\parallel}^{-}$ для кожного типу смуг. Для смугастої мікроструктури N_{\perp}^{-} є мірою кількості смуг на міліметр (половина P_{\perp}^{-} приблизно дорівнює N_{\perp}^{-}).

Б.6.2 Далі розраховують стандартні відхилення цих вимірювань для n полів відповідно за формулою:

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \right]^{1/2}, \tag{Б.15}$$

де X_i — вимірювання на одному полі зору;
 \bar{X} — середнє значення кожного вимірювання.

Б.6.3 Далі розраховують 95-відсотковий довірчий інтервал, 95 % CI, для кожного вимірювання відповідно за формулою:

$$95 \% \text{ CI} = \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}, \tag{Б.16}$$

де S — стандартний відхил;
 t — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань (див. таблицю Б.1).
 Величина кожного вимірювання виражена як середнє значення \pm 95 % CI.

Таблиця Б.1 — Величини t для розрахування 95-відсоткових довірчих інтервалів

$n - 1$	t	$n - 1$	t
2	4,303	7	2,365
3	3,182	8	2,306
4	2,776	9	2,262
5	2,571	10	2,228
6	2,447		

Примітка. n — кількість вимірювань.

Б.6.4 Далі розраховують відносну похибку, RA , для кожного вимірювання відповідно за формулою:

$$RA = \frac{95 \% \text{ CI}}{\bar{X}} \cdot 100 \%. \tag{Б.17}$$

Відносна похибка визначає похибку вимірювань, виражену у відсотках, яка виникає у разі переходу від одного поля зору до другого. Відносну похибку 30 % або менше зазвичай вважають адекватною. Якщо RA перевищує 30 %, треба провести додаткові вимірювання, щоб поліпшити значення RA .

Б.6.5 Середню відстань від центра до центра смуги або досліджуваної фази, SB_1 , можливо визначити зі зворотної величини N_{\perp}^{-} за формулою:

$$SB_1 = \frac{1}{N_{\perp}^{-}}. \tag{Б.18}$$

Середній вільний шлях (див. Б.2) також можливо розрахувати за формулою (Б.19). Це потребує вимірювання об'ємної частки, V_v , смугастої або орієнтованої фази будь-яким придатним методом.

$$\lambda_l = \frac{1 \cdot V_v}{N_{L\perp}^-} \quad (\text{Б.19})$$

Символи λ_l і V_v визначено у Б.2.

Різниця між середньою відстанню й середнім вільним шляхом дає можливість оцінювати середню ширину смугастої фази.

Б.6.6 Індекс анізотропії, AI , розраховують за допомогою середніх значень, $N_{L\perp}^-, N_{L\parallel}^-, P_{L\perp}^-, P_{L\parallel}^-$, за формулами:

$$AI = \frac{N_{L\perp}^-}{N_{L\parallel}^-} \quad \text{або} \quad AI = \frac{P_{L\perp}^-}{P_{L\parallel}^-} \quad (\text{Б.20})$$

Величини AI , розраховані за цими формулами, мають бути приблизно рівними, оскільки, якщо не враховувати вплив дотичних показів і помилки підрахування, $P_L = 2 N_L$ для таких структур. Індекс анізотропії для довільно орієнтованої, не смугастої мікроструктури дорівнює одиниці. У міру того, як ступінь орієнтації або смугастості зростає, індекс анізотропії теж зростає і перевищує одиницю.

Б.6.7 Ступінь орієнтації, Ω_{12} , частково орієнтованих лінійних елементів структури на двовимірній площині може бути розраховано за формулами:

$$\Omega_{12} = \frac{N_{L\perp}^- - N_{L\parallel}^-}{N_{L\perp}^- + 0,571 N_{L\parallel}^-}, \quad \text{або} \quad \Omega_{12} = \frac{P_{L\perp}^- - P_{L\parallel}^-}{P_{L\perp}^- + 0,571 P_{L\parallel}^-} \quad (\text{Б.21})$$

Величини Ω_{12} , розраховані за цими формулами, повинні бути приблизно рівні, оскільки без врахування впливу дотичних показів і помилок підрахування, $P_L = 2 N_L$ для таких структур. Ступінь орієнтації може змінюватися від нуля (повністю випадковий розподіл елементів структури) до 1,0 (повністю орієнтована структура).

Б.7 Протокол випробування

Б.7.1 Цей протокол повинен містити інформацію, що дозволяє ідентифікувати випробні зразки: джерело походження, назву металопродукції, дату аналізу, кількість вимірюваних полів зору, використовуване збільшення тощо.

Б.7.2 Природу, тип і ступінь смугастості або орієнтованості мікроструктури визначають відповідно до рисунка Б.2.

Б.7.3 Залежно від виконаних вимірювань підраховують середній стандартний відхил, 95-відсотковий довірчий інтервал і відносну похибку у відсотках для кожного вимірювання ($N_{L\perp}$, $N_{L\parallel}$, $P_{L\perp}$, $P_{L\parallel}$ для кожного типу смуг). Далі, залежно від виконаних вимірювань, підраховують індекс анізотропії, AI , відповідно до Б.6.6 і величину ступеня орієнтації, Ω_{12} , відповідно до Б.6.7. Для смугастих мікроструктур наводять величини відстаней SB_l і λ_l , розрахованих відповідно до Б.6.5.

Б.8 Чинники, що впливають на точність методики оцінювання смугастості

Б.8.1 Не існує стандартів, які можна використовувати для гарантованого визначення точності під час вимірювання смугастості.

Б.8.2 Оскільки смугастість визначають на поздовжньо орієнтованих металографічних зразках (паралельно напрямку деформації), відхили площини полірування від цього напрямку більше ніж на 5 градусів можуть вплинути на результати вимірювання.

Б.8.3 Недостатня підготовка зразків буде впливати на результати випробувань. Травлення повинне створювати достатньо сильний контраст між смугами або фазами, які досліджують. Найкраще, якщо протравлювач не виявляє меж зерен усередині досліджуваної фази.

Б.8.4 Ступінь смугастості й ширина смуг можуть змінюватися по перерізу зразка. Тому треба оцінювати характеристики смугастості відповідно до місць розташування досліджуваної ділянки по перерізу зразка.

Б.8.5 Використовуване збільшення може впливати на результати випробувань. З одного боку, збільшення повинне бути досить високим, щоб дозволяти зробити точний підрахунок захоплен

або перетинів фазових границь. З іншого боку, збільшення повинне бути якнайменшим, таким, щоб кожна випробна лінія перетинала достатню кількість вимірюваних зерен або часток.

Б.8.6 Випробні лінії повинні бути акуратно розташовані перпендикулярно до і паралельно напрямку деформації для точного підрахування і визначання N_{LL} , N_{LH} , P_{LL} , P_{LH} . Треба уникати відхилів більше ніж на 5 градусів від перпендикуляра або паралелі.

Б.8.7 Відносна похибка вимірювань, паралельних площині гарячої деформації, майже завжди виявляється більшою, ніж вимірювань, перпендикулярних до напрямку деформації. Для цієї кількості полів зору статистична точність зазвичай є кращою для більш грубозернистих структур, ніж для структур з меншим зерном і для ізотропних структур порівняно зі смугастими або орієнтованими структурами.

Б.8.8 Правил підрахування потрібно дотримуватися точно для забезпечення належної відтворюваності результатів у межах однієї лабораторії і між лабораторіями.

Б.8.9 Словесний опис природи смугастості є якісним і, до певної міри, суб'єктивним. На цей час не існує чітких даних щодо зв'язку між виміряними кількісними параметрами і якісними термінами, використовуваними для опису мікроструктури.

ДОДАТОК В
(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. — Москва: Металлургия, 1976.
2. ASTM E1268-01 Standard Practice For Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures (Стандартна методика оцінювання ступеня смугастості або орієнтації мікроструктур).

Код УКНД 77.040.99

Ключові слова: металографічний метод, листовий прокат, мікроструктура, смугастість, смугаста мікроструктура листового прокату.

Редактор **О. Біндас**
Технічний редактор **О. Касіч**
Коректор **І. Недогарко**
Верстальник **І. Барков**

Підписано до друку 12.08.2014. Формат 60 × 84 1/8.
Ум. друк. арк. 2,32. Зам. *1301* Ціна договірна.

Виконавець
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115

Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006 серія ДК № 1647