

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ
З РОЗДІЛУ “РЕНТГЕНІВСЬКИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ”
З ДИСЦИПЛІНИ “АНАЛІЗ ТА КОНТРОЛЬ МАТЕРІАЛІВ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ II–IV КУРСІВ МЕХАНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства
Протокол № 12 від 13.06.2014

Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму з розділу “Рентгенівський контроль виробів” з дисципліни “Аналіз та контроль матеріалів” для студентів II–IV курсів механічних спеціальностей / Укл.: Гірін О.Б., Овчаренко В.І., Колесник Є.В. – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 36 с.

Укладачі: О.Б. Гірін, д-р техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук
Є.В. Колесник, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму з розділу “Рентгенівський контроль виробів” з дисципліни “Аналіз та контроль матеріалів” для студентів II–IV курсів механічних спеціальностей

Укладачі: ГІРІН Олег Борисович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович
КОЛЕСНИК Євген Валерійович

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор В.П. Синицька

Підписано до друку 01.07.15. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 1,64. Обл.-вид. арк. 1,71. Тираж 100 прим. Зам. № 146.
Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ, 5, просп. Гагаріна, 8

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПРИНЦИП ДІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ТРУБОК І АПАРАТІВ

Мета роботи: вивчити будову, принцип дії та область застосування рентгенівських трубок і апаратів.

Матеріальне забезпечення: рентгенівські трубки, рентгенівські дифрактометри ДРОН-2, ДРОН-3, ДРОН-3М.

1.1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1.1 РЕНТГЕНІВСЬКІ ТРУБКИ

Рентгенівське випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між гамма- і ультрафіолетовим випромінюванням у межах довжин хвиль від 10^{-5} нм до 10^2 нм. Рентгенівське випромінювання з довжиною хвилі $\lambda < 0,2$ нм умовно називають жорстким, з $\lambda > 0,2$ нм – м'яким.

Спектр рентгенівського випромінювання складається з декількох серій, що позначаються великими латинськими літерами: K, L, M, N та ін. Кожна серія складається з декількох ліній: α , β , γ та ін. (рис. 1.1).

Рентгенівське випромінювання характеризується довжиною його хвилі. У рентгенівських променів від довжини хвилі залежить насамперед їх проникаюча здатність; ніж менша довжина хвилі, тим промені “жорсткіші”, тим менше вони поглинаються в речовині і тим легше крізь неї проходять.

Рентгенівське випромінювання переважно є неоднорідним, тобто складається з хвиль різних довжин.

Для кількісної характеристики складного випромінювання його спектр часто зображують графічно (рис. 1.2). По осі абсцис відкладають довжину хвилі λ , по осі ординат – похідну інтенсивності по довжині хвилі, тобто щільність інтенсивності J .

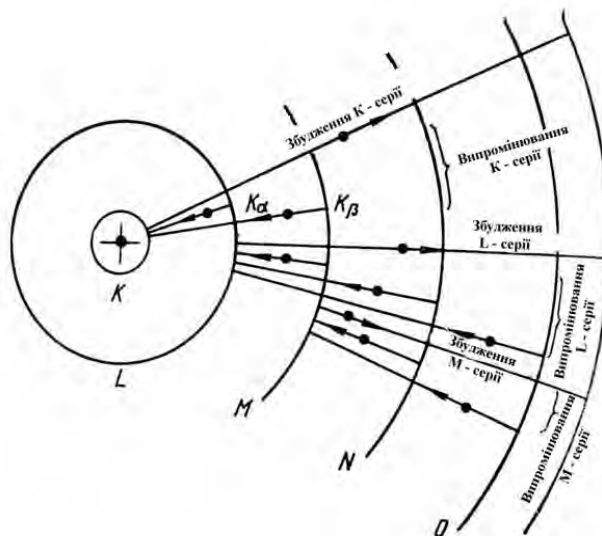


Рис. 1.1. Схема виникнення рентгенівських променів

Як і світлові, рентгенівські промені можуть мати суцільний і лінійчатий спектри (рис. 1.2). Випромінювання із суцільним спектром називають іноді білим, промені однієї якої-небудь довжини хвилі – монохроматичними.

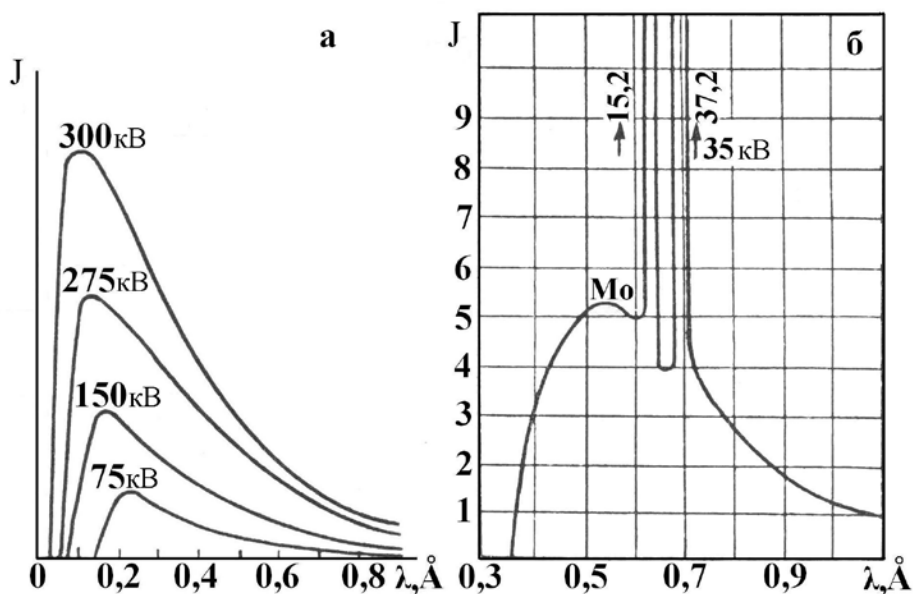


Рис. 1.2. Спектральні криві: а – суцільний спектр; б – лінійчатий спектр

Рентгенівська трубка є джерелом рентгенівських променів, що виникають у ній у результаті взаємодії електронів, які швидко рухаються, з перешкодою (анодом).

Для виникнення рентгенівського випромінювання в рентгенівській трубці необхідно:

- одержання вільних електронів;
- надання вільним електронам великої кінетичної енергії (10^3 – 10^6 eV);
- гальмування електронів, що швидко рухаються, на аноді.

Більш розповсюдженим типом трубок, які застосовуються у даний час для структурного аналізу, є запаяна електронна трубка (рис. 1.3), що уявляє собою скляний балон, з'єднаний з металевим циліндром. В циліндр введено два електроди – катод 1 (розігріта вольфрамова спіраль) і анод 2 (масивний мідний циліндр, торець якого, закритий металевою пластиною, знаходиться напроти катода). Для одержання електронів використовується явище термоелектронної емісії, тобто випускнення електронів нагрітим металом. Джерелом електронів у трубці є спіраль катода, що розігріта до температури 2100–2200°C.

У трубці створюється високий вакуум (10^{-3} – 10^{-5} Па), що запобігає виникненню газового розряду між електродами та забезпечує їх теплову і хімічну ізоляцію, а також вільне переміщення емітованих електронів у середині трубки.

Створення різниці потенціалів між катодом і анодом змушує електрони переміщатися із великою швидкістю у напрямку від катода до анода. Для зменшення розсіювання потоку електронів, що рухається від катода до анода, використовується спеціальний фокусувальний ковпачок 3. Вдаряючись у площадку на торці анода, електрони різко гальмуються. При цьому близько

1–2% їх кінетичної енергії перетворюється в енергію електромагнітних коливань (рентгенівське випромінювання), а інша частина енергії – у теплову.

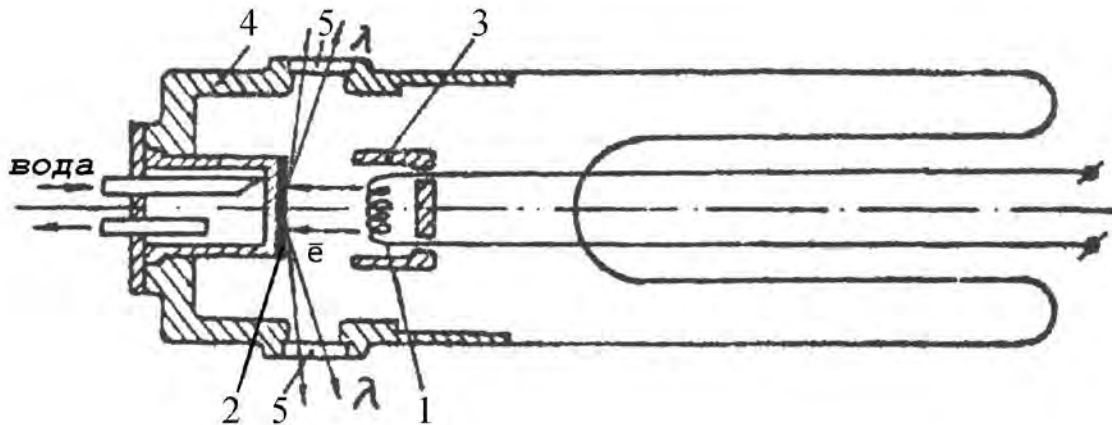


Рис. 1.3. Схема запаяної електронної рентгенівської трубки для структурного аналізу:
1 – катод; 2 – анод; 3 – фокусуючий ковпачок;
4 – захисний циліндр; 5 – вікна для рентгенівських променів

Для запобігання сильного розігрівання аноду передбачене його безперервне водяне (або масляне) охолодження.

Металевий кожух трубки (захисний циліндр) гасить рентгенівські промені. З трубки вони виходять тільки через спеціальні вікна 5, що уявляють собою циліндричні отвори, герметично закриті тонкою пластинкою зі сплаву найбільш легких елементів (берилій, літій, бор) або чистого берилію.

Спіраль катоду звичайно виготовляють з тугоплавкого вольфраму, покритого торієм для поліпшення емісійних характеристик.

Масивний корпус аноду виготовляють з міді, тому що вона має високу теплопровідність, а торець, на якому гальмуються електрони (дзеркало аноду), може бути покритий шаром іншого металу (Cr, Fe, Ni, Co, Mo, W, Ag та ін.). Зміна матеріалу дзеркала аноду дозволяє одержувати випромінювання з різною довжиною хвилі.

Для визначення довжини хвилі рентгенівського випромінювання використовують формулу Мозлі (1.1):

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot (z - \sigma)^2 \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1.1)$$

де λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

R – постійна Ридберга, $1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$;

z – порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва;

σ – постійна екранування, $\sigma = 1 \dots 1,5$ (для К-серії $\sigma = 1$);

m – енергетичний рівень, на який відбувається перехід електрона;

n – енергетичний рівень, з якого відбувається перехід електрона.

Приклад:

Матеріалом, з якого виконане дзеркало аноду, є кобальт (№ 27).

Довжина хвилі рентгенівського випромінювання для K_{α} -серії:

$$\frac{1}{\lambda} = 1,09 \cdot 10^7 \cdot (27 - 1)^2 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 552,63 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1},$$

$$\lambda = 0,1809 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Фокус трубки – площадка на дзеркалі аноду, що випускає рентгенівські промені при бомбардуванні електронами.

Залежно від конструктивних особливостей і призначення рентгенівської трубки класифікуються за наступними ознаками:

1. За способом одержання вільних електронів – іонні й електронні. В іонних трубках вільні електрони створюються в результаті бомбардування холодного катоду позитивними іонами, що виникають у розрідженому (до 0,01–0,10 Па) газі при поданні на них високої напруги. В електронних трубках вільні електрони з'являються внаслідок термоелектронної емісії катоду, який розігрівається струмом.

2. За способом створення і підтримки вакууму – запаяні і розбірні. У запаяних трубках високий вакуум створюється при їх виготовленні і зберігається протягом усього періоду експлуатації завдяки герметичності їх корпусу (балона). Порушення вакууму викликає вихід трубки з ладу. У розбірних трубках вакуум створюється і підтримується за допомогою вакуумного насосу в процесі експлуатації.

3. За призначенням – для просвічування матеріалів, для структурного аналізу і для медичних цілей.

4. За величиною (площиною) фокуса – з нормальним (6–7 мм²) і гострим (декілька сотих або тисячних мм²).

Електричні характеристики рентгенівської трубки описуються наступними залежностями (1.2, 1.3):

$$I_T = f(I_H) \text{ при } U_A = \text{const}, \quad (1.2)$$

$$I_T = f(U_A) \text{ при } I_H = \text{const}, \quad (1.3)$$

де I_T – струм у трубці (анодний струм), що утворюється за рахунок переходу електронів з катода на анод;

I_H – струм накалу – струм, що пропускається скрізь спіраль катода для її розігрівання;

U_A – висока напруга (анодна напруга), прикладена до полюсів трубки.

Графічне зображення залежностей наведено на рис. 1.4 і 1.5.

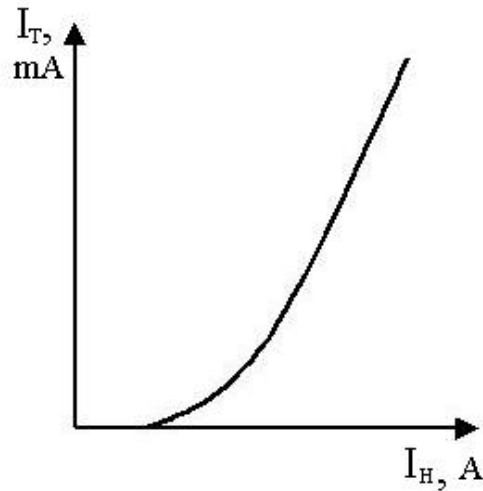


Рис. 1.4. Залежність сили струму у трубці від сили струму накали

З рис. 1.4 видно, що струм у трубці з'являється тільки при досягненні певного значення струму накали, тому що емісія електронів з поверхні катода починається тільки з певної температури нагрівання.

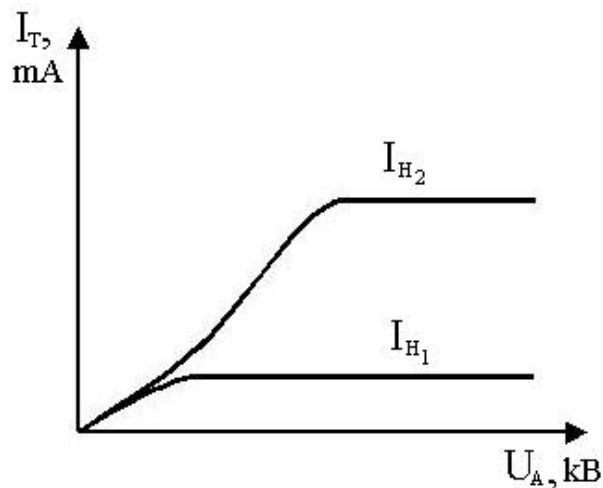


Рис. 1.5. Залежність сили струму в трубці від анодної напруги

З рис. 1.5 видно, що при малій напрузі не всі електрони досягають анода, зі збільшенням U_A їх кількість збільшується й I_T зростає доти, поки всі електрони не досягнуть анода. Подальше підвищення напруги не призводить до збільшення струму в трубці – скрізь трубку проходить струм насичення. Щоб підвищити струм у трубці, необхідно збільшити кількість електронів, що випускаються катодом. Для цього необхідно збільшити струм накали.

Гранична потужність трубки визначається за формулою (1.4)

$$P = U \cdot I, \quad (1.4)$$

де U , I – максимальні значення відповідно U_A , I_T , при яких ще не відбувається перегрів і розплавлення аноду.

Умовне позначення трубок для структурного аналізу містить наступні позиції:

1. Потужність трубки, кВт.
2. Безпечність трубки для обслуговуючого персоналу (літера Б).
3. Призначення трубки (літера С – для структурного аналізу, літера П – для просвічування).
4. Охолоджуюче середовище (літера В – вода, літера М – масло).
5. Номер моделі (трубки для структурного аналізу) або максимальна напруга, що прискорює, кВ (трубки для дефектоскопії).
6. Матеріал дзеркала анода.

Наприклад:

2,0 БСВ-23 Со – трубка потужністю 2,0 кВт, безпечна (у захисному кожусі), призначена для структурного аналізу і має водяне охолодження, модель 23, анод – кобальтовий (рис. 1.6).

3 БПМ-200 – трубка потужністю 3,0 кВт, безпечна, призначена для просвічування, охолоджується маслом, що циркулює за замкнутим контуром. Максимальна напруга – 200 кВ.



Рис. 1.6. Зовнішній вигляд рентгенівської трубки БСВ-23

1.1.2. РЕНТГЕНІВСЬКИЙ АПАРАТ

Для розв'язання науково-технічних задач з використанням рентгенівського випромінювання в теперішній час найчастіше застосовують рентгенівські дифрактометри. Так, рентгенівські дифрактометри ДРОН-2 (рис. 1.7), ДРОН-3 та ін. використовуються в заводських науково-дослідних лабораторіях і призначені для проведення широкого кола рентгеноструктурних досліджень, зокрема для фазового аналізу матеріалів.

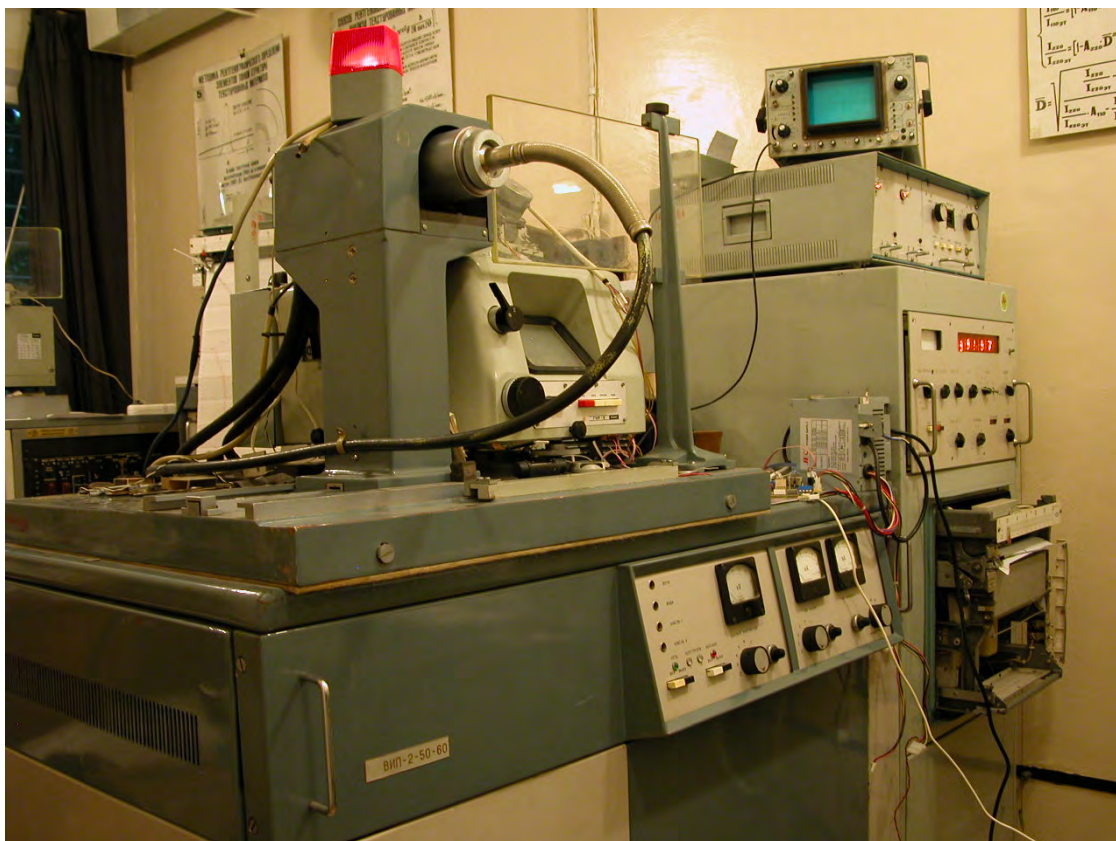


Рис. 1.7. Зовнішній вигляд рентгенівського дифрактометра ДРОН-2 (лабораторія рентгенотекстурного аналізу кафедри матеріалознавства Українського державного хіміко-технологічного університету)

Основні технічні характеристики рентгенівських апаратів (ДРОН-2):

- 1) потужність, споживана апаратом, не більше – 5,5 кВт;
- 2) максимальна напруга – 50 кВ;
- 3) максимальний анодний струм – 60 мА;
- 4) діапазон переміщення детектора – 0-164°;
- 5) швидкості повороту детектора 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16°/хв;
- 6) живлення від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380/220 В;
- 7) маса – близько 1300 кг;
- 8) настановна площа – 12 м².

Основні вузли апарата (рис. 1.7):

- а) високовольтне джерело живлення (ВДЖ);
- б) електронно-обчислювальний пристрій (ЕОП);
- в) пристрій виводу інформації (ПВІ);
- г) блок автоматичного керування (БАК);
- д) стійка дифрактометрична (СД);
- е) рентгенівська трубка (РТ);
- ж) детектор рентгенівського випромінювання (Д).

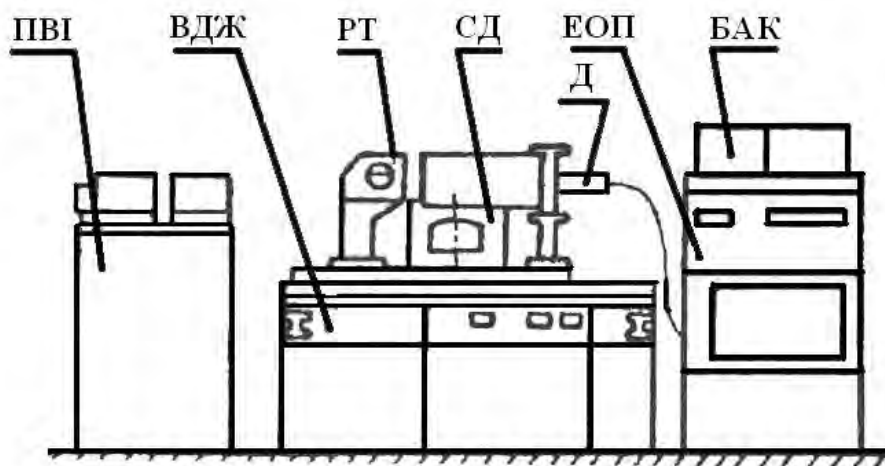


Рис. 1.8. Схема розташування основних вузлів апарату ДРОН-2

Високовольтне джерело живлення забезпечує живлення і стабілізацію параметрів рентгенівської трубки.

Стійка дифрактометрична поєднує кронштейн із рентгенівською трубкою у захисному кожусі, гоніометричний пристрій і детектор випромінювання. Гоніометричний пристрій несе на собі деталі (щілини, монохроматор, держатель зразка), які забезпечують геометрію, оптимальну для реєстрації дифракційної картини. Гоніометр служить для надавання руху системі “зразок–детектор” і для відліку кутів їх повороту.

Блок автоматичного керування забезпечує керування роботою гоніометричного пристрою, електронно-обчислювального пристрою і пристрою виводу інформації.

Електронно-обчислювальний пристрій здійснює підсилення і рахування сигналів, що надходять від детектора. Швидкість рахування квантів (імп/с) можна візуально зчитувати зі шкали приладу інтенсиметра або записувати на діаграмній стрічці потенціометра КСП-4 з автоматичною оцінкою кутів повороту детектора. У електронно-обчислювальному пристрої знаходиться також високовольтний блок, що забезпечує живлення детектора.

Пристрій виводу інформації призначений для реєстрації даних на стрічці перфоратора при передачі даних з електронно-обчислювального пристрою.

Для виконання рентгенівського аналізу матеріалів на сучасному рівні використовуються модернізовані та комп'ютеризовані дифрактометри типу ДРОН, за допомогою яких одержуються експериментальні дані більш високої точності. В цьому випадку в процесі рентгенівського дослідження забезпечується незалежне автоматичне управління всіма двигунами модернізованого комплексу як у покроковому, так і у безперервному режимах руху зразка відносно осей дифрактометру (рис. 1.9).

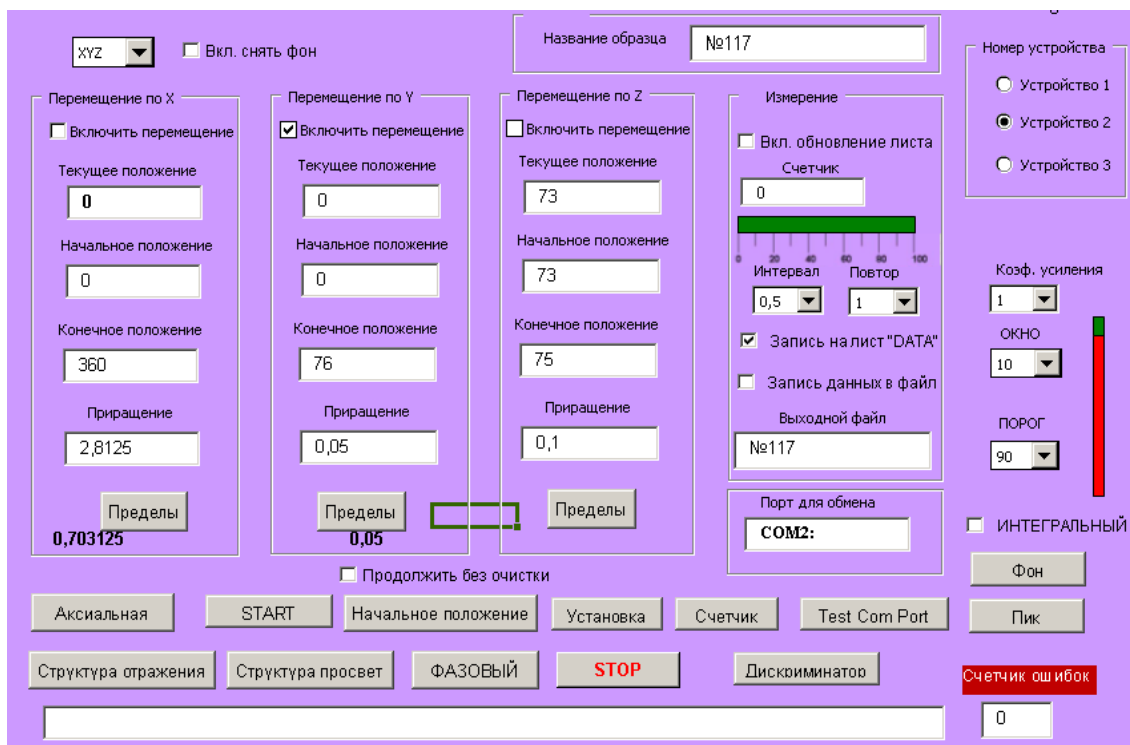


Рис. 1.9. Панель управління гоніометричною приставкою і підсилювачем-дискримінатором, яка виведена на екран монітора

Модернізація та автоматизація рентгенівських дифрактометрів надала можливість фіксувати досліджуваний зразок з високою точністю в гоніометричній приставці відносно первинного рентгенівського пучка променів і кола фокусування дифрактометра, що забезпечило прецизійне визначення структурних характеристик матеріалів.

1.2 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З РЕНТГЕНІВСЬКИМИ АПАРАТАМИ

При роботі з рентгенівськими апаратами існує безпека ураження персоналу електричним струмом та іонізуючим випромінюванням. Захист від ураження електричним струмом забезпечується захисними огорожами та системою блокувань. Сучасні рентгенівські трубки для структурного аналізу дають досить значну інтенсивність випромінювання, біля вікна трубки вона може сягати більше 100 Р/хв. Безпечні умови роботи на рентгенівських апаратах забезпечуються захисними пристроями та суворим виконанням правил роботи з джерелами іонізуючих випромінювань. Робота на апаратах з відключеними або знятими захисними пристроями заборонена. Ті вікна трубки, які не використовують для аналізу мають бути закриті спеціальними заглушками. Встановлення досліджуваних зразків на апараті при ввімкненій рентгенівській трубці не дозволяється.

Організаційно-технічні заходи з техніки безпеки при роботі на рентгенівських апаратах, зокрема, містять:

а) правильне установлення апарату та допоміжних пристроїв для захисту від випромінювання;

- б) визначення за допомогою дозиметрів безпечних зон і зон підвищеної безпеки біля апарату;
- в) періодичний дозиметричний контроль у приміщенні лабораторії;
- г) складання робочих інструкцій, які містять правила з техніки безпеки і заходи при аварійних ситуаціях;
- д) спеціальне навчання персоналу, який працює на обладнанні.

1.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити будову рентгенівських трубок.
2. Вивчити принцип роботи рентгенівської трубки та її основні електричні характеристики.
3. Вивчити основні вузли рентгенівського дифрактометра.
4. Засвоїти принцип роботи рентгенівського дифрактометра.

1.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Надати визначення рентгенівському випромінюванню; описати спектр і умови виникнення рентгенівського випромінювання.
2. Навести схему рентгенівської трубки для структурного аналізу матеріалів; описати фокус, класифікацію та електричні характеристики рентгенівських трубок.
3. Навести формулу для визначення довжини хвилі рентгенівського випромінювання.
4. Навести схему рентгенівського дифрактометра; описати основні вузли апарату ДРОН-2.

1.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка природа рентгенівського випромінювання?
2. Які умови необхідні для одержання рентгенівських променів?
3. Які спектри має рентгенівське випромінювання?
4. За якою формулою можна визначити довжину хвилі рентгенівського випромінювання?
5. Назвіть основні елементи рентгенівської трубки.
6. Наведіть класифікацію рентгенівських трубок.
7. Що називається фокусом трубки, дзеркалом анода?
8. Перетворення яких видів енергії відбувається в рентгенівській трубці?
9. Які основні електричні характеристики має рентгенівська трубка і як вони пов'язані між собою?
10. Як визначити граничну потужність рентгенівської трубки?
11. Назвіть основні вузли дифрактометра.
12. Опишіть принцип роботи дифрактометра.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

РЕНТГЕНІВСЬКИЙ ПРОСВІЧУЮЧИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ

Мета роботи: навчитися визначати вихідні дані для проведення рентгенівського просвічуючого контролю зварних з'єднань; на підставі аналізу основних технічних характеристик устаткування і розрахунку параметрів контролю обрати оптимальний метод рентгенівського просвічуючого контролю заданого зварного з'єднання; розробити технологічну карту контролю.

Матеріальне забезпечення: номограми експозицій просвічування різних матеріалів рентгенівським та γ -випромінюванням.

2.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Рентгенівський просвічуючий контроль – є одним з неруйнівних методів контролю металів і виробів, об'єднаних під загальною назвою “Методи просвічування іонізуючими випромінюваннями”, які широко використовуються в металургії, машинобудуванні, електроніці та інших галузях промисловості. Найбільш доцільним й ефективним є використання цих методів при виявленні внутрішніх прихованих дефектів у виробах (що залягають на глибині більш 1 мм). Найчастіше їх використовують для перевірки зварних і паяних швів, лиття, а також якості складальних робіт, стану закритих порожнин деталей і агрегатів після тривалої експлуатації та ін.

Рентгенівський просвічуючий контроль застосовують для виявлення таких внутрішніх дефектів у зварних з'єднаннях, як тріщини, непровари, усадочні раковини, пори, окісні та інші вclusions. Виявляють також недоступні для зовнішнього огляду дефекти: проломи, підрізи, перевищення проплаву.

Застосування методів просвічування іонізуючими випромінюваннями, на відміну від інших видів контролю (ультразвукового, магнітного, струмовихревого та ін.), обмежується лише товщиною матеріалу і його здатністю поглинати дане випромінювання. Форма і розміри контрольованих деталей значення не мають.

Методи просвічування засновані на законі ослаблення інтенсивності випромінювання, що проходить через контрольований об'єкт. За результатами виміру інтенсивності випромінювання за об'єктом визначають наявність у ньому дефектів. Це визначає особливість контролю – обов'язкове виконання вимоги: доступу до контрольованого об'єкту з двох боків. При цьому з одного боку знаходиться джерело випромінювання, а з іншого боку – детектор.

При просвічуючому контролі в якості джерела випромінювання використовують рентгенівські апарати (рентгенівські трубки), радіоактивні ізотопи або прискорювачі заряджених часток (електронів). Роль детектора в даному випадку виконує рентгенівська плівка.

Рентгенівські апарати застосовують для просвічування сталевих виробів товщиною до 120–160 мм, радіоактивні ізотопи – для контролю деталей товщиною до 200 мм, прискорювачі електронів – для виробів товщиною більш 450 мм.

Для кожної деталі, що піддається просвічуючому контролю, розробляють технологічну карту (додаток А), у якій наводять дані про об'єкт контролю (найменування виробу, просвічувана товщина і марка матеріалу), вказують мету просвічування, джерело випромінювання, типи рентгенівських плівок, товщину посилюючих екранів, умови просвічування (контрольовані ділянки та їх розташування щодо осі робочого пучка випромінювання, заходи захисту від розсіяного випромінювання, застосовувані фільтри), режими просвічування (анодна напруга чи струм рентгенівського апарату, енергія γ -випромінювання, експозиція, фокусна відстань та ін.). Приналежності та матеріали для просвічуючого контролю обирають відповідно до вимог державних стандартів і технічних умов на конкретний вид виробів.

Просвічувану товщину визначають, виходячи зі схеми контролю (рис. 2.1), знаючи вихідні дані про об'єкт контролю.

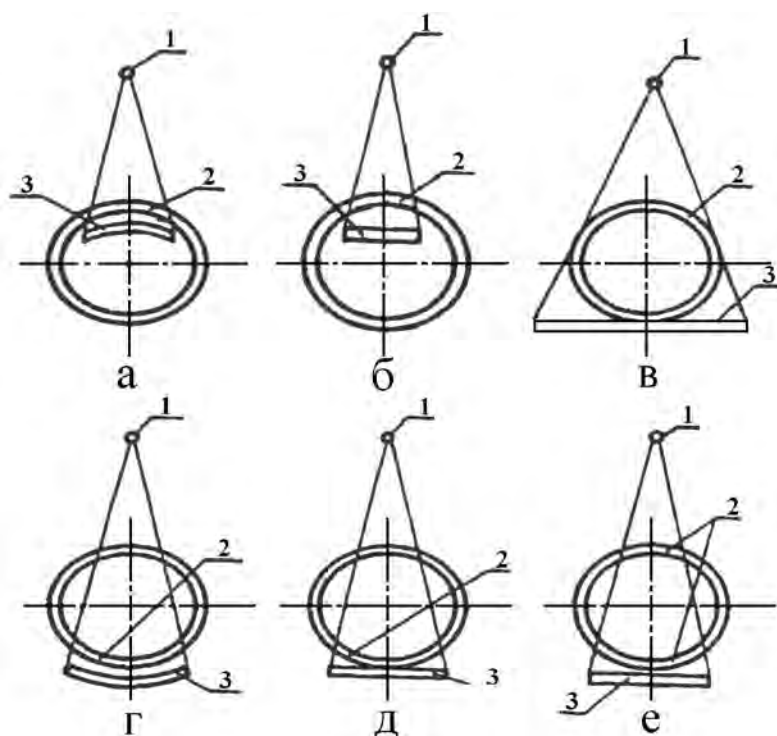


Рис. 2.1. Схема контролю кільцевих стикових зварних з'єднань:

1 – джерело випромінювання; 2 – контрольована ділянка;

3 – касета з плівкою; а, б, в, г, д, е – можливі варіанти розташування плівки

Джерело випромінювання обирають залежно від товщини і щільності контрольованого матеріалу (табл. 2.1).

Рентгенівські апарати і гамма-дефектоскопи виготовляють переносними і стаціонарними з урахуванням можливих умов їх експлуатації (табл. 2.2 і табл. 2.3). В умовах лабораторій переважно застосовують стаціонарні рентгенівські апарати.

В умовах ремонту чи монтажу, у польових умовах, при обмежених підходах до об'єкта контролю, при відсутності на місці робіт електроенергії, коли неможливо використовувати рентгенівські апарати, для роботи поблизу вибухово- чи пожежонебезпечних об'єктів використовують, в основному, переносні гамма-дефектоскопи.

Таблиця 2.1

Область застосування іонізуючого випромінювання
для дефектоскопічного контролю

Товщина просвічуваного матеріалу, мм			Напруга на рентгенівській трубці не вище, кВ	Закриті радіоізотопні джерела γ-випромінювання
залізо	алюміній	магній		
1	2	3	4	5
Рентгенівське випромінювання				
0,4	5	14	40	—
0,7	12	22	50	—
1,0	20	35	60	—
3,0	38	57	80	—
5,0	54	80	100	—
7,0	59	105	120	—
10,0	67	120	150	—
21,0	100	160	200	—
27,0	112	200	250	—
33,0	132	240	300	—
46,0	210	310	400	—
150,0	430	650	1000	—
γ-випромінювання				
1–20	3–70	10–200	—	Тулій-170
5–80	40–350	70–450	—	Іридій-192
10–120	50–350	100–500	—	Цезій-137
30–200	200–500	300–700	—	Кобальт-60

Таблиця 2.2

Основні технічні характеристики переносних рентгенівських апаратів

Тип апарата	Тип рентгенівської трубки	Діапазон напруги на трубці, кВ	Номінальний струм у трубці, мА	Розмір фокусної плями, мм
РУП-60-20-1	1,0 БПВ 1-609	10–60	20,0	2,0
РУП-120-5-1	0,4 БПМ 2-120	50–120	5,0	2,0
РУП-160-6П	0,7 БПМ 2-160П	80–160	6,0	2,0
РУП-200-5-1	0,7 БПМ 3-200	70–200	5,0	2,0
РУП-200-20-5	1,5 БПМ 1-200	70–200	20,0	5,0
РУП-150/300-10	0,3 БПВ 6-150	35–150	2,0	5,0
	1,5 БПВ 7-150	35–150	10,0	5,0
	1,5 БПВ 7-150	35–150	10,0	5,0
	0,3 БПВ 6-150	35–150	2,0	5,0
	2,5 БПМ 4-250	70–250	10,0	2,5
РУП-400-5-1	1,5 БПВ 2-400	250–400	5,0	5,0
РТД-1	1,5 БПВ-12/13	250–1000	1,5	5,0

Таблиця 2.3

Основні технічні характеристики гамма-дефектоскопів

Тип дефектоскопу	Джерело випромінювання		Товщина матеріалу, мм	
	ізоотоп	потужність експозиційної дози на відстані 1 м, Р/с	сталь	алюміній
1	2	3	4	5
Переносні				
Гаммарид-21	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-4}$	1–40	1–120
		$5,00 \cdot 10^{-4}$		
		$1,50 \cdot 10^{-3}$		
	Тулій-170	$1,16 \cdot 10^{-4}$		
	Цезій-137	$1,20 \cdot 10^{-4}$		
Гаммарид-23	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-4}$	1–60	1,5–120
	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-3}$		
	Тулій-170	$2,50 \cdot 10^{-5}$		
		$1,16 \cdot 10^{-4}$		
Гаммарид-22	Цезій-137	$1,20 \cdot 10^{-4}$	1–43	1–120
	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-3}$		
“Сталель-5М”	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-3}$	12–50	150
Гаммарид-20	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-2}$	1–60	1,5–120
	Іридій-192	$5,00 \cdot 10^{-3}$		
	Тулій-170	$4,30 \cdot 10^{-3}$		
Гаммарид-26	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-2}$	1–80	1,5–250
	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-3}$		
	Тулій-170	$4,30 \cdot 10^{-3}$		
ГУП-тулій-0,5-3	Тулій-170	$1,20 \cdot 10^{-4}$	1–10	–
РИД-32	Кобальт-60	$3,50 \cdot 10^{-2}$	50–200	150–600
“Магістраль”	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-3}$	До 400	–
“Нева”	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-4}$	До 80	–
		$2,50 \cdot 10^{-2}$		
“Магістраль-1”	Цезій-137	$2,50 \cdot 10^{-2}$	До 35	–
ДВС-2	Тулій-170	$1,16 \cdot 10^{-4}$	1–40	2–120
	Іридій-192	$1,50 \cdot 10^{-3}$		
Стационарні				
ГУД-Со-5-3	Кобальт-60	$1,20 \cdot 10^{-3}$	До 150	—
ГУД-Со-50-3	Кобальт-60	$1,20 \cdot 10^{-2}$	60–200	–
РИД-41	Кобальт-60	$1,20 \cdot 10^{-1}$	60–250	200–700
ГУД-20-2	Цезій-137	$5,00 \cdot 10^{-3}$	10–100	40–300

2.2 ПРИНАЛЕЖНОСТІ І МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Для забезпечення якісного контролю з максимальною продуктивністю застосовують різноманітні спеціальні приналежності (посилюючі і захисні екрани, еталони чутливості, маркіровочні знаки та ін.).

У якості посилюючих використовують металеві екрани (табл. 2.4), що дозволяють істотно скоротити експозицію при просвічуванні виробів.

Для захисту рентгенівської плівки від розсіяного випромінювання касету з плівкою екранують з боку, протилежного джерелу випромінювання, свинцевими екранами (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Товщина металевих посилюючих і захисних свинцевих екранів

Джерело випромінювання		Товщина екрану, мм
рентгенівський апарат з напругою на рентгенівській трубці, кВ	радіоактивний ізотоп	
Металевий посилюючий		
До 100	–	До 0,02
Від 100 до 300	–	0,05–0,09
Від 300	Тулій-170	0,09
–	Іридій-192	0,09–0,20
–	Цезій-137	0,20–0,30
–	Кобальт-60	0,30–0,50
Захисний свинцевий		
До 200	Тулій-170	До 1,0
Більш ніж 200	Іридій-192, цезій-137, кобальт-60	1,0–2,0

Для оцінки чутливості просвічуючого методу контролю та якості знімків застосовують дотові, канавкові і пластинчасті еталони чутливості (табл. 2.5). Їх виготовляють з металу чи сплаву, основа якого аналогічна основі контрольованого об'єкта.

Дротові еталони використовують при просвічуванні виробів з очікуваними дефектами типу непроварів і макротріщин; пластинчасті – при виявленні дефектів типу газових пор, включень, раковин.

Маркіровочні знаки призначені для нумерації і розмітки знімків. При контролі їх установлюють на кожній ділянці разом з еталонами чутливості з боку, зверненого до джерела випромінювання.

Рентгенівські плівки для промислової дефектоскопії випускають чотирьох класів: I – РТ-5; II – РТ-4; III – РТ-1 і РТ-3; IV – РТ-2. Чутливість плівки підвищується від I до IV класу.

При виборі рентгенівських плівок потрібно виходити з того, що краща якість знімків забезпечують плівки I і II класів, тобто РТ-5 і РТ-4. Для контролю зварних з'єднань переважно застосовують дротові еталони (табл. 2.5). Чутливість при цьому визначається найменшим діаметром дроту, що виявляється на знімку, мм (2.1):

$$k = d_{\min} \cdot \quad (2.1)$$

Таблиця 2.5

Значення чутливості контролю при використанні дротових еталонів у залежності від товщини просвічуваного матеріалу й умов експлуатації устаткування

Товщина матеріалу, мм	Номер еталону	$d_{\min}$, мм	Товщина матеріалу, мм	Номер еталону	$d_{\min}$, мм
1	2	3	4	5	6
Стационарні умови роботи					
От 1,0 до 3,0 вкл. Від 3,0 до 5,0 вкл.	1	0,10 0,16	Від 85,0 до 105,0 вкл. Від 105,0 до 113,0 вкл.	4	1,25 1,25
Від 5,0 до 8,0 вкл. Від 8,0 до 11,0 вкл. Від 11,0 до 12,4 вкл. Від 12,4 до 18,0 вкл.	2	0,20 0,25 0,25 0,32	Від 113,0 до 125,0 вкл. Від 125,0 до 150,0 вкл. Від 150,0 до 200,0 вкл. Від 200,0 до 250,0 вкл.		1,60 1,60 2,00 2,50
Від 18,0 до 25,0 вкл. Від 25,0 до 33,0 вкл. Від 33,0 до 35,4 вкл. Від 35,4 до 45,0 вкл. Від 45,0 до 49,0 вкл. Від 49,0 до 65,0 вкл. Від 65,0 до 85,0 вкл.	3	0,40 0,50 0,50 0,63 0,63 0,80 1,00	Від 250,0 до 270,0 вкл. Від 270,0 до 300,0 вкл. Від 300,0 до 350,0 вкл. Від 350,0 до 400,0 вкл.		2,50 3,20 3,20 4,00
			Від 400,0 до 450,0 вкл. Від 450,0 до 500,0 вкл. Від 500,0 до 550,0 вкл. Від 550,0 до 600,0 вкл.	5	4,50 5,00 5,50 6,00
Ремонтні, монтажні, польові та інші умови роботи					
От 1,0 до 3,0 вкл. Від 3,0 до 4,0 вкл.	1	0,10 0,16	Від 60,0 до 80,0 вкл. Від 80,0 до 88,0 вкл.	4	1,25 1,25
Від 4,0 до 6,0 вкл. Від 6,0 до 8,0 вкл. Від 8,0 до 8,8 вкл. Від 8,8 до 12,0 вкл.	2	0,20 0,25 0,25 0,32	Від 88,0 до 100,0 вкл. Від 100,0 до 120,0 вкл. Від 120,0 до 170,0 вкл. Від 170,0 до 220,0 вкл.		1,60 1,60 2,00 2,50
Від 12,0 до 16,0 вкл. Від 16,0 до 20,0 вкл. Від 20,0 до 21,6 вкл. Від 21,6 до 20,0 вкл. Від 28,0 до 30,8 вкл. Від 30,8 до 42,0 вкл. Від 42,0 до 60,0 вкл.	3	0,40 0,50 0,50 0,63 0,63 0,80 1,00	Від 220,0 до 240,0 вкл. Від 240,0 до 270,0 вкл. Від 270,0 до 320,0 вкл. Від 320,0 до 370,0 вкл.		2,50 3,20 3,20 4,00
			Від 370,0 до 420,0 вкл. Від 420,0 до 480,0 вкл. Від 480,0 до 540,0 вкл. Від 540,0 до 600,0 вкл.	5	4,50 5,00 5,50 6,00

Примітка: При визначенні чутливості дефектоскопічних знімків у випадку просвічування труб через дві стінки чутливість контролю може бути знижена в 1,3 рази.

2.3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРОСВІЧУЮЧОГО КОНТРОЛЮ

Відстань f від джерела випромінювання до поверхні контрольованого зварного з'єднання не повинна бути менше значень, що визначають за формулами, наведеними у табл. 2.6.

Кількість ділянок при контролі, у залежності від схеми просвічування, не повинна бути менше ніж значення, визначені за формулами табл. 2.7.

Розрахунок часу експозиції при роботі з іонізуючими випромінюваннями проводять за формулами:

– для рентгенівського випромінювання (2.2):

$$t = \frac{t_n}{I} \cdot k_F, \quad (2.2)$$

– для γ -випромінювання (2.3):

$$t = t_n \cdot k_F \cdot \frac{100}{Q}, \quad (2.3)$$

де t_n – час просвічування, який визначається за номограмами, побудованими для кожного рентгенівського апарата і гамма-дефектоскопа з використанням певних плівок і екранів (додаток Б);

I – номінальний струм у рентгенівській трубці (табл. 2.2), мА;

Q – активність джерела γ -випромінювання (табл. 2.8), мКі.

Значення k_F розраховують за формулою (2.4)

$$k_F = \frac{f^2}{F^2}, \quad (2.4)$$

де f – мінімальна відстань від джерела випромінювання до контрольованого виробу, яка визначається за даними табл. 2.6;

F – фокусна відстань, для якої побудовані номограми (додаток Б).

Варто звернути увагу на те, що на номограмах наведені криві, зображені суцільними і пунктирними лініями. Суцільні лінії відносяться до просвічування на плівки без посилюючих екранів, пунктирні – на плівки з екраном товщиною 0,05 мм.

Таблиця 2.6

Формули для визначення відстані f від джерела випромінювання до поверхні контрольованого зварного з'єднання

Схема просвічування	f , мм	Прийняті значення коефіцієнта C
Рис. 2.1, а	$1,1 \cdot C \cdot (D - d)$	$C = \Phi/k$ при $\Phi/k \geq 2$ $C = 2$ при $\Phi/k < 2$
Рис. 2.1, б	$C \cdot (D - \sqrt{d^2 - l^2})$	
Рис. 2.1, в, г	$2 \cdot C \cdot D$	
Рис. 2.1, е	$1,4 \cdot C \cdot (D - d)$	
Рис. 2.1, д	$C \cdot (D - d \cdot \cos(180^\circ / N))$	

Умовні позначки, прийняті у формулах:

D, d – зовнішній і внутрішній діаметри контрольованого зварного з'єднання, мм;

l – довжина знімка, мм;

N – кількість контрольованих ділянок;

Ф – максимальний розмір фокусної плями (активної частини) джерела випромінювання, мм, (див. табл. 2.2 і табл. 2.8);

κ – необхідна чутливість просвічуючого контролю, мм (табл. 2.5).

Значення l і N при контролі за рис. 2.1,б можуть обиратися у межах, співвідношення (2.5):

$$l \leq d; N \geq \frac{180^\circ}{\arcsin \frac{0,8 \cdot d}{D}} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.7

Формули для визначення мінімальної кількості ділянок при просвічуючому контролі

Схема просвічування	Формула розрахунку
Рис. 2.1, а	$\frac{180^\circ}{\arcsin \frac{0,6 \cdot d}{D} - \arcsin \frac{0,6 \cdot d}{2 \cdot f + D}}$
Рис. 2.1, б	$\frac{180^\circ}{\arcsin \frac{0,8 \cdot l}{D}}$
Рис. 2.1, в	2
Рис. 2.1, г	$\frac{180^\circ}{36,8^\circ + \arcsin \frac{0,6 \cdot D}{2 \cdot f + D}} \text{ при } \frac{d}{D} \geq 0,75$
	$\arcsin \frac{0,8 \cdot d}{D} + \arcsin \frac{0,8 \cdot d}{2 \cdot f + D} \text{ при } \frac{d}{D} < 0,75$
Рис. 2.1, д	$\frac{180^\circ}{\arcsin \frac{0,8 \cdot d}{D}}$
Рис. 2.1, е	3 при $\frac{d}{D} \geq 0,625$
	$\frac{180^\circ}{\arcsin \frac{0,8 \cdot d}{D}} \text{ при } \frac{d}{D} < 0,625$

Таблиця 2.8

Основні характеристики закритих радіоізотопних джерел
γ-випромінювання

Ізотоп	Період напів-розпаду	Тип джерела	Потужність експозиційної дози випромінювання на відстані 1 м, Р/с	Розмір (діаметр) активної частини джерела, мм	Активність, мКі
Кобальт-60	5,25 року	ГИК-Д-1	$2,5 \cdot 10^{-4}$	1,0	0,05
		ГИК-Д-2	$5,8 \cdot 10^{-4}$	2,0	0,10
		ГИК-Д-3	$1,2 \cdot 10^{-3}$	2,0	0,19
		ГИК-Д-4	$2,5 \cdot 10^{-3}$	4,0	0,50
		ГИК-Д-5	$1,2 \cdot 10^{-2}$	4,0	1,00
		ГИК-Д-6	$5,0 \cdot 10^{-2}$	6,0	5,10
		ГИК-Д-7	$1,2 \cdot 10^{-1}$	7,0	19,00
		ГИК-Д-8	$5,0 \cdot 10^{-1}$	15,0	43,00
Цезій-137	29,6 року	ГИЦ-Д-1	$1,2 \cdot 10^{-4}$	3,0	0,02
		ГИЦ-Д-2	$5,0 \cdot 10^{-4}$	5,0	0,89
		ГИЦ-Д-3	$1,2 \cdot 10^{-3}$	6,0	1,50
		ГИЦ-Д-4	$5,0 \cdot 10^{-3}$	10,0	7,10
		ГИЦ-Д-5	$2,5 \cdot 10^{-2}$	18,0	180,00
		ГИЦ-Д-6	$5,0 \cdot 10^{-2}$	23,0	360,00
Іридій-192	744 дні	ГИИ-Д-1	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,5	2,50
		ГИИ-Д-2	$5,0 \cdot 10^{-4}$	1,0	8,30
		ГИИ-Д-3	$1,5 \cdot 10^{-3}$	1,5	20,00
		ГИИ-Д-4	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,0	25,00
		ГИИ-Д-5	$5,0 \cdot 10^{-3}$	3,0	42,00
		ГИИ-Д-6	$1,5 \cdot 10^{-2}$	4,0	63,00
		ГИИ-Д-7	$2,5 \cdot 10^{-2}$	6,0	78,00
Тулій-170	129 днів	Ту-0	$4,7 \cdot 10^{-6}$	2,0	0,70
		Ту-1	$2,5 \cdot 10^{-5}$	5,0	1,40
		Ту-2	$4,3 \cdot 10^{-5}$	5,0	2,80
		Ту-3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	7,5	7,10
		Ту-4	$2,5 \cdot 10^{-4}$	9,0	14,00
		Ту-5	$4,3 \cdot 10^{-3}$	11,0	480,00

2.4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ПРОСВІЧУЮЧОГО КОНТРОЛЮ

При складанні технологічної карти варто враховувати рекомендації, викладені вище. Зокрема, при виборі типу рентгенівських плівок врахувати, що номограми для визначення експозиції (додаток Б) побудовані тільки для типів плівок, зазначених в їх назвах. Тому при використанні плівок інших типів час просвічування визначають за формулою (2.6)

$$t = t_0 \cdot k_4, \quad (2.6)$$

де t_0 – час, отриманий за графіком експозицій;

k_4 – перехідний коефіцієнт, який визначають за табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Значення перехідних коефіцієнтів k_4 для різних рентгенівських плівок і схем зарядки касет

Схема зарядки касет	Значення k_4 для плівок типа				
	РТ-1	РТ-2	РТ-3	РТ-4	РТ-5
Без посилюючих екранів	2	4	3,5	10	30
З посилюючими екранами	1	2	1,8	5	15

При виборі часу експозиції варто виходити з того, що економічно припустимими витримками без екранів вважають 10–20 хв.

2.5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичну частину роботи.
2. Одержати індивідуальне завдання на проведення просвічуючого контролю і виконати його відповідно до поставлених в роботі задач дослідження.
3. Підготувати технологічну карту просвічуючого контролю.

2.6 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Надати визначення рентгенівському просвічуючому контролю, описати в яких галузях промисловості і для чого його застосовують.
2. Надати характеристику апаратів, які застосовуються для проведення рентгенівського просвічуючого контролю.
3. Описати приналежності і матеріали, які використовують для промислової дефектоскопії.
4. Навести формулу для визначення чутливості дефектоскопічних знімків.
5. Навести формули для визначення часу експозиції при роботі з іонізуючими випромінюваннями.
6. Розробити технологічну карту просвічуючого контролю виробу.
7. Зробити висновки по роботі.

2.7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. На яких явищах та законах фізики засновані просвічуючі методи контролю матеріалів?
2. В яких випадках застосовують рентгенівський просвічуючий контроль матеріалів?
3. Які апарати застосовують для проведення рентгенівського просвічуючого контролю?
4. Які приналежності і матеріали застосовують для промислової дефектоскопії?
5. Для чого використовують еталони чутливості, маркіровочні знаки?
6. Які параметри розраховують при виконанні рентгенівського просвічуючого контролю?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

РЕНТГЕНОГРАФІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МАКРОНАПРУЖЕНЬ У ВИРОБАХ

Мета роботи: засвоїти методику розрахунку залишкових макронапружень; визначити величину макронапружень у металевому виробі.

Матеріальне забезпечення: рентгенівські дифрактометри ДРОН-2, ДРОН-3, металеві вироби, дифрактограми.

3.1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Макронапруження (або напруження 1-го роду) – це напруження, які підлягають закону Гука та врівноважуються в об'ємі всього виробу або більшої його частини.

Макронапруження виникають у виробах при неоднорідному зовнішньому впливі на них в процесі їх одержання або обробки. Наприклад, макронапруження можуть бути зумовлені неоднорідним нагріванням або охолодженням (наприклад, при зварюванні, при термічній обробці), процесами обробки тиском (наприклад, холодною прокаткою), процесами механічної обробки (різання, шліфування). Способи одержання деяких матеріалів (електрохімічні покриття) також зумовлюють виникнення макронапружень.

Оскільки наявність макронапружень може призвести до суттєвої деформації виробів в процесі їх оброблення або експлуатації, важливим є визначення їх наявності та величини. Для цього застосовують механічні або рентгенографічні методи.

Рентгенографічний метод визначення макронапружень у виробах базується на тому, що їх наявність викликає зсув дифракційних ліній на дифрактограмах. Оскільки макронапруження характеризуються однорідним розтягненням або стисканням кристалічної решітки, вони призводять до однорідної зміни міжплощинних відстаней на величину Δd . Це зумовлює зсув дифракційних ліній на величину $\Delta\theta$, оскільки міжплощинна відстань d системи площин з індексами hkl і відповідний їм кут відбиття пов'язані рівнянням Вульфа-Бреггів (3.1).

$$\frac{d_i}{n} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_i}, \quad (3.1)$$

де λ – довжина хвилі характеристичного рентгенівського випромінювання, в якому проведено зйомку;

θ_i – кут i -го максимуму на дифрактограмі.

Якщо продиференціювати рівняння (3.1), отримаємо (3.2):

$$\Delta d = d \cdot \operatorname{ctg} \theta \cdot \Delta \theta. \quad (3.2)$$

Тоді для лінійно-напруженого стану величину макронапружень можна розрахувати наступним способом. Якщо циліндричний зразок розтягнутий під дією осевого навантаження P , і до розтягнення його довжина була l_0 , а площа перетину S , то напруження $\sigma = P/S$ викликає виникнення пружної деформації $\varepsilon = \Delta l/l_0 = (l-l_0)/l_0$, яка визначається законом Гука: $\varepsilon = \sigma/E$, де E – модуль пружності (модуль Юнга).

Діаметр зразка при цьому зменшується на величину $\Delta D = \mu \cdot \varepsilon \cdot D_0$, де μ – коефіцієнт Пуассона. Тоді деформація уздовж діаметру визначається як $\Delta D/D_0 = -\mu \cdot \varepsilon$. Для однорідної деформації відносна зміна міжплощинної відстані дорівнює відносній деформації зразка. Тому у напрямку, нормальному зовнішньому навантаженню, $\Delta d/d_0 = -\mu \cdot \sigma/E$. Тоді макронапруження для випадку лінійно-напруженого стану можна розрахувати за формулою (3.3)

$$\sigma = E \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \Delta \theta / \mu. \quad (3.3)$$

Але в реальних конструкціях лінійно-напружений стан (одноосьове розтягнення або стискання) реалізується дуже рідко. В багатьох випадках слід розглядати об'ємно-напружений стан (рис. 3.1), який описується трьома нормальними напруженнями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, які діють в трьох головних напрямках. Величина деформації в цих трьох напрямках визначається як (3.4, 3.5, 3.6):

$$\varepsilon_1 = [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)]/E; \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_2 = [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)]/E; \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_3 = [\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)]/E. \quad (3.6)$$

Але оскільки рентгенографічний метод дозволяє досліджувати тільки приповерхневий шар виробу (10 мкм) для більшості задач прийнято розглядати плоско-напружений стан, для якого $\sigma_3 = 0$.

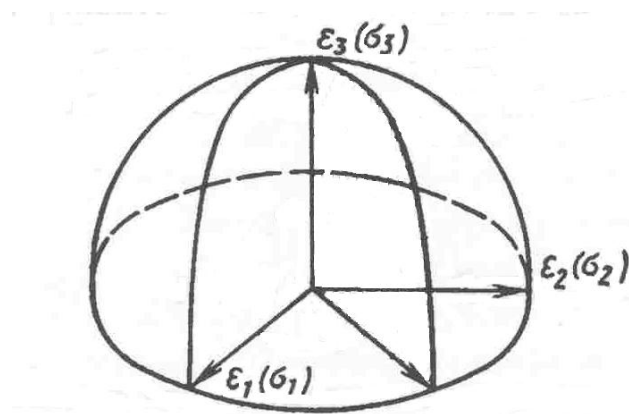


Рис. 3.1. Еліпсоїд деформації для об'ємно-напруженого стану

Тоді пружна деформація в приповерхневих шарах (3.7)

$$\varepsilon = -\mu(\sigma_1 + \sigma_2)/E. \quad (3.7)$$

Величина макронапружень в цьому випадку розраховується за формулою (3.8)

$$\sigma_1 + \sigma_2 = -(E/\mu) \cdot (\Delta d/d). \quad (3.8)$$

Для визначення $\Delta d/d$ проводять зйомку напруженого зразка і ненапруженого еталона. Для одержання точного результату дифракційну лінію обирають з кутом θ , якомога ближчим до 90° .

3.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Для запропонованого матеріалу за довідковими даними обрати дифракційну лінію hkl , кут θ якої, розрахований за формулою (3.1), був би близьким до 90° .

2. Провести зйомку обраної дифракційної лінії напруженого зразка та ненапруженого еталону на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 або ДРОН-3 у залізному випромінюванні ($\lambda = 0,1937$ нм) або за вказівкою викладача використати одну з готових дифрактограм максимуму (220) зразка (Додаток В).

3. За одержаними дифрактограмами визначити кут θ для обраної лінії hkl для зразка та еталона. За формулою (3.1) розрахувати відповідні міжплощинні відстані d та обчислити їх різницю Δd .

4. За формулою (3.8) обчислити величину макронапружень у виробі, як суму двох нормальних напружень $\sigma_1 + \sigma_2$ для випадку плоско-напруженого стану.

3.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Надати визначення макронапруженням.
2. Описати, за яких умов у виробках виникають макронапруження.
3. Описати рентгенографічний метод визначення макронапружень у виробках.
4. Навести формулу для визначення макронапружень для випадку плоско-напруженого стану.
5. Результати розрахунків оформити у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати рентгенографічного визначення макронапружень у виробі

hkl	Ненапружений еталон		Напружений зразок		Δd , нм	$\sigma_1 + \sigma_2$, МПа
	θ , град	d , нм	θ , град	d , нм		

6. Зробити висновки з роботи.

3.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що є макронапруженнями, і як вони виникають?
2. У чому полягає необхідність визначення макронапружень у виробках?
3. Назвіть порядок рентгенографічного визначення величини макронапружень у виробках.
4. Які дифракційні лінії слід обирати для визначення макронапружень?
5. Як впливає наявність макронапружень у виробі на вид його дифрактограми?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : МИСИС, 2002. – 360 с.
2. Уманский, Я. С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия [Текст] / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков, А. Н. Иванов, Л. Н. Расторгуев. – М. : Металлургия, 1982. – 632 с.
3. Учебно-методическое пособие по дисциплине “Рентгенография и электронная микроскопия” (лабораторный практикум раздела “Рентгенография”) для студентов специальности 11.07 / Сост. : Т. П. Шмырева, Л. С. Кривуша, Т. А. Зайцева. – Днепропетровск: ДМетИ, 1992. – 54 с.
4. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов [Текст] / Л. И. Миркин. – М. : Машиностроение, 1979. – 134 с.

Технологічна карта просвічуючого контролю

Найменування зварного з'єднання _____ Матеріал _____

Схема просвічування. Характеристика	Основні параметри
	1. Товщина просвічуваного матеріалу, мм 2. Вид просвічування 3. Тип рентгенівського апарата чи гамма-дефектоскопа, джерело випромінювання 4. Напруга (кВ) чи потужність експозиційної дози 5. Фокусна пляма чи розмір активної частини джерела випромінювання, мм 6. Тип рентгенівської плівки 7. Товщина екранів, мм: металевого посилюючого, свинцевого захисного 8. Фокусна відстань, мм 9. Експозиція, хв. 10. Кількість контрольованих ділянок 11. Вид і номер еталона чутливості 12. Необхідна чутливість контролю, мм 13. Час контролю одного шва, хв. 14. Норма виробітку в зміну

Карту розробив _____ (П.І.Б.)

Номограми експозиції просвічування

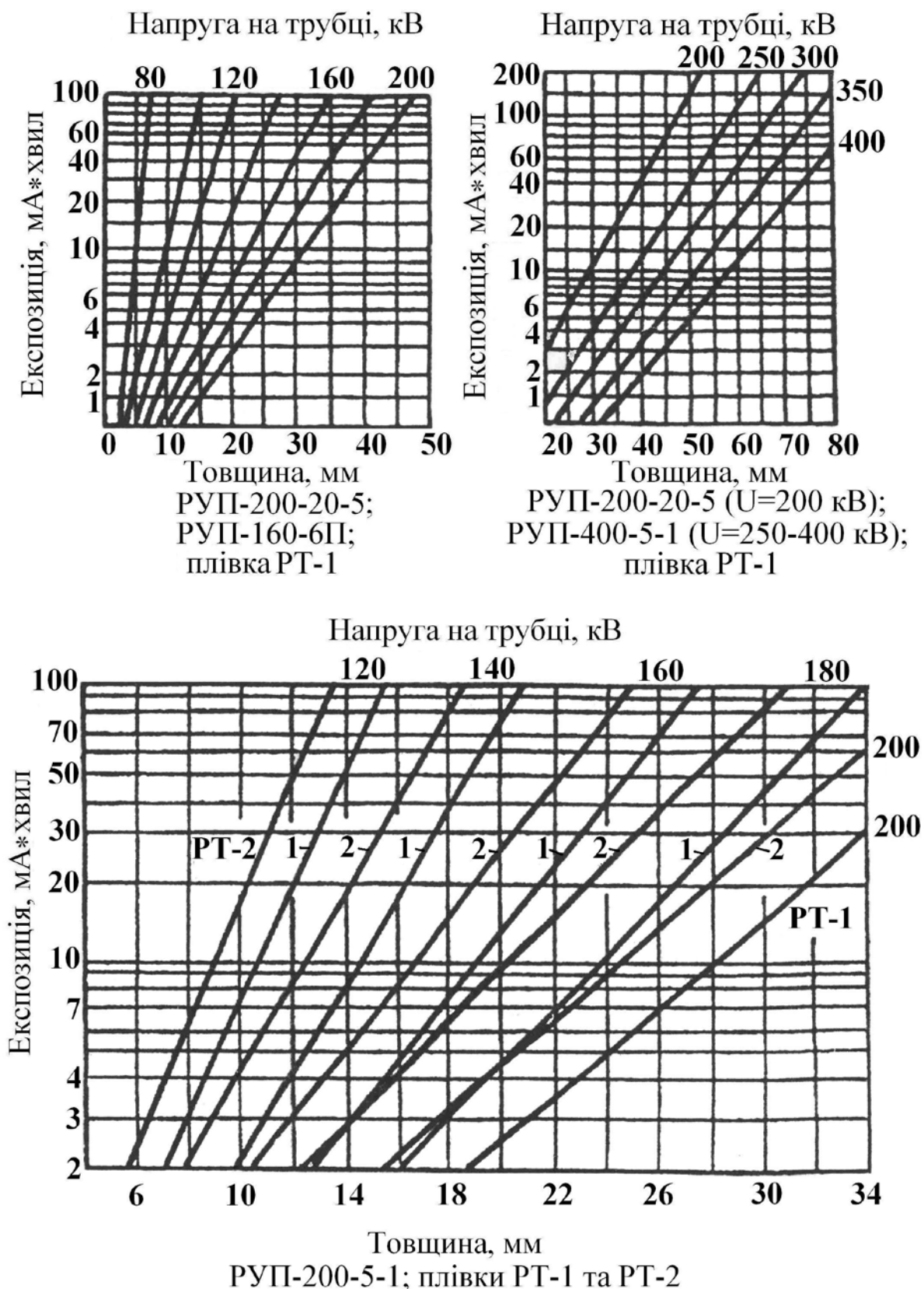


Рис. Б.1 Номограми експозиції просвічування сталевих деталей рентгенівськими апаратами ($F = 75 \text{ см}$)

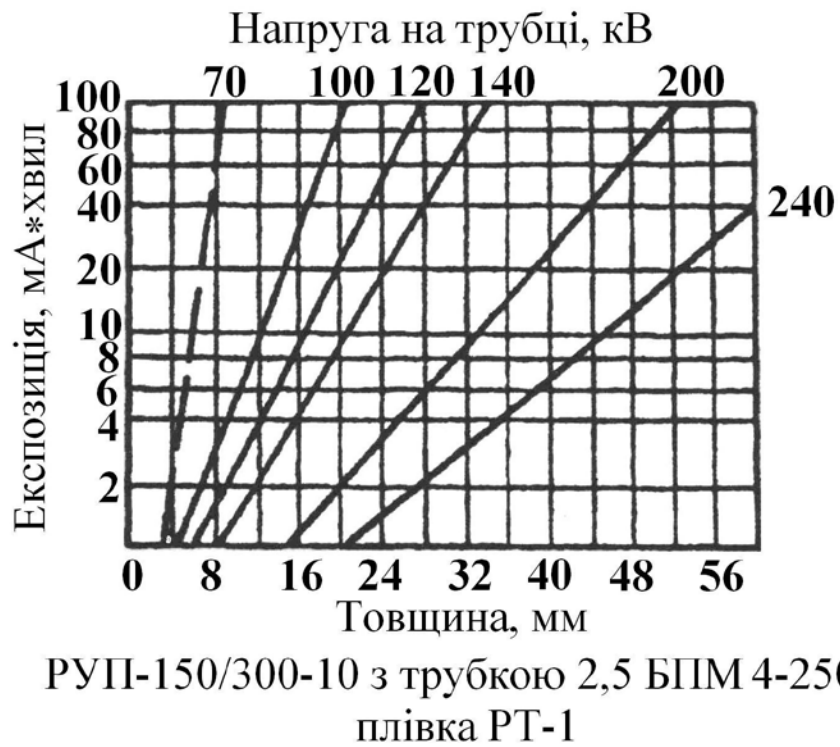


Рис. Б.2 Номограми експозиції просвічування сталевих деталей рентгенівськими апаратами ($F = 75$ см)

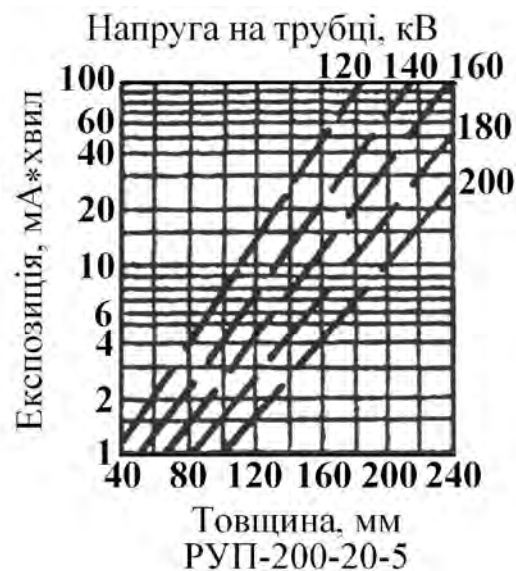
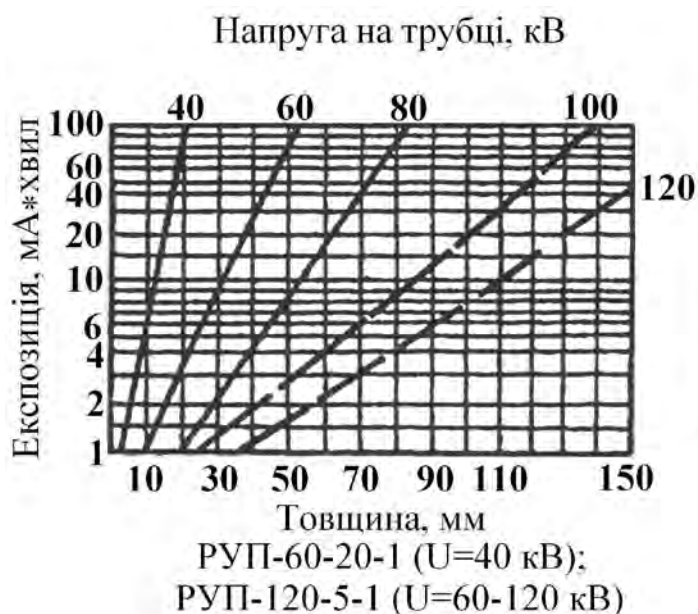


Рис. Б.3 Номограми експозиції просвічування деталей з алюмінієвих сплавів рентгенівськими апаратами на плівку РТ-1 (F = 75 см)

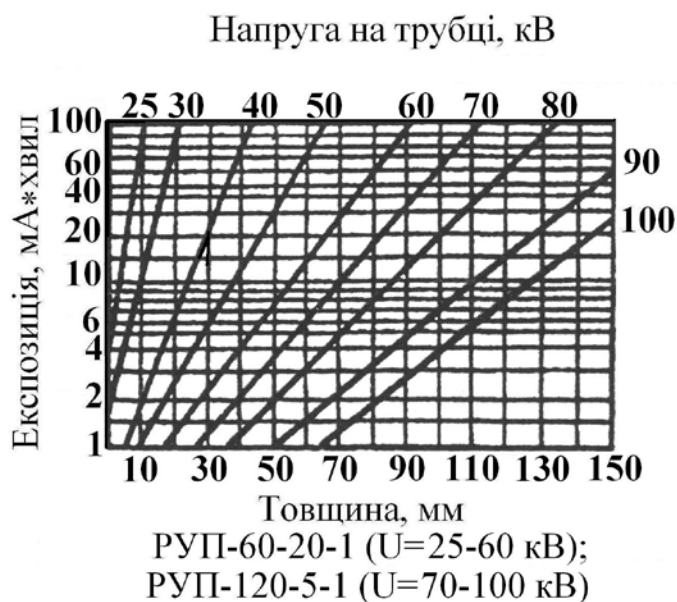


Рис. Б.4 Номограми експозиції просвічування деталей з магнієвих сплавів рентгенівськими апаратами на плівку РТ-1 (F = 75 см)

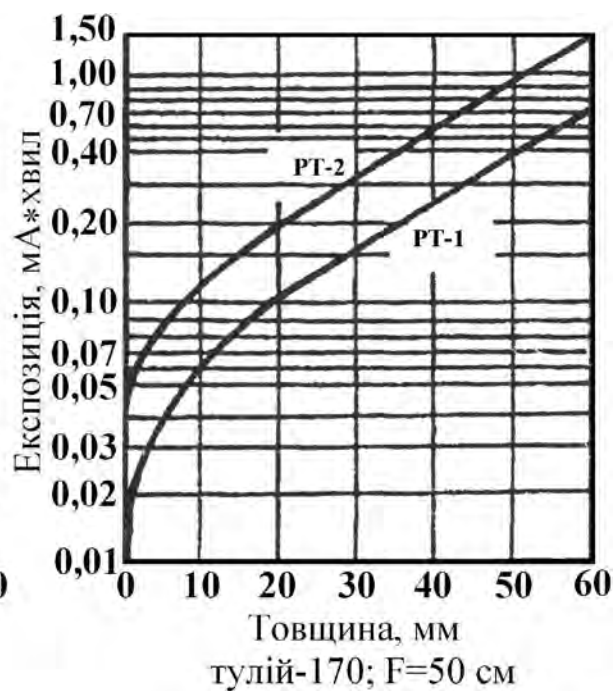
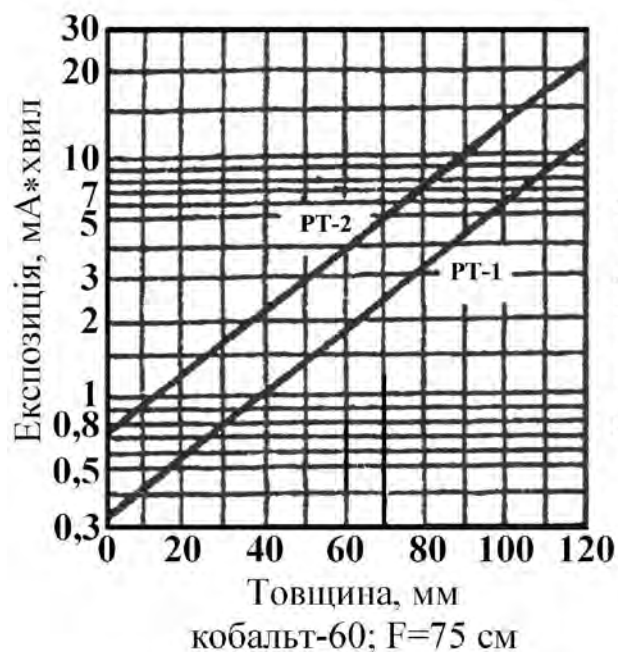
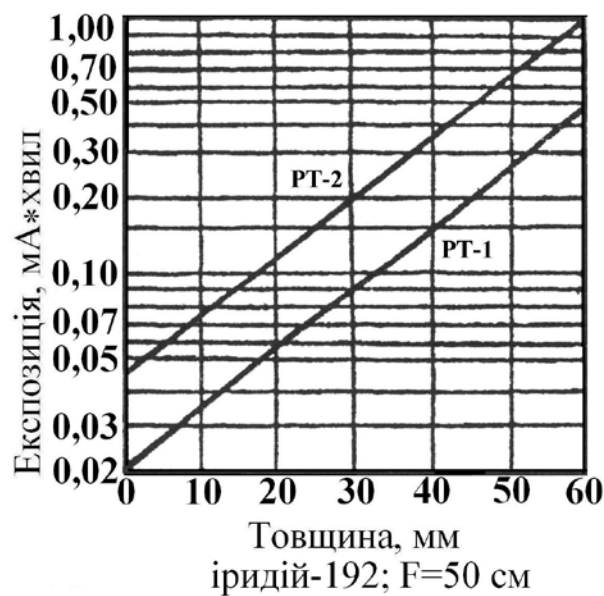
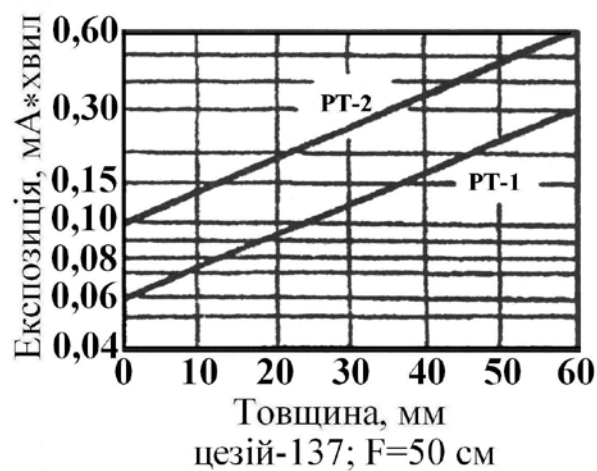


Рис. Б.5 Номограми експозиції просвічування сталевих деталей γ -випромінюванням на плівку РТ-1 і РТ-2

Дифракційний максимум (220) сталевих зразків

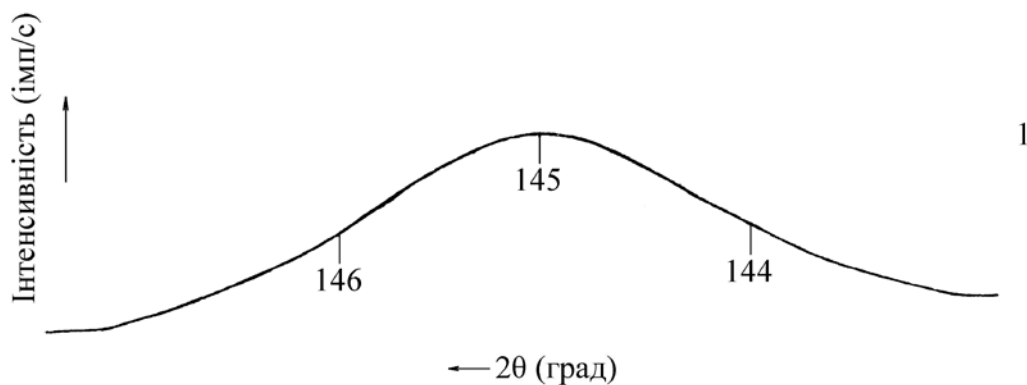


Рис. В.1 Дифракційний максимум (220) сталевих зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 1)

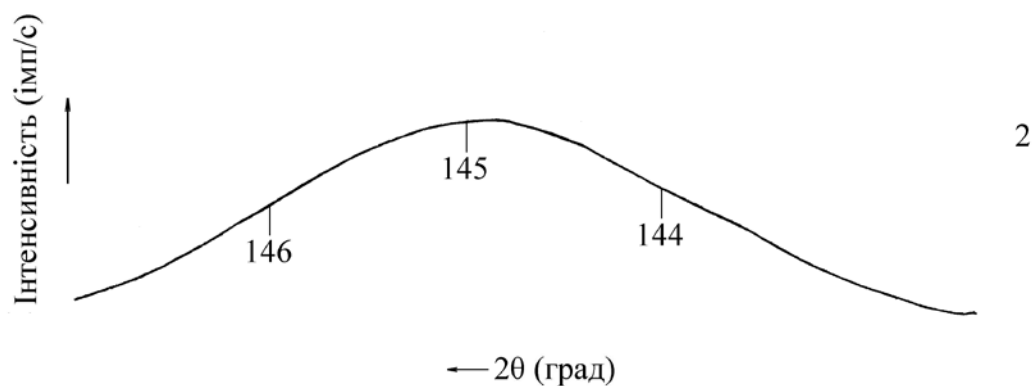


Рис. В.2 Дифракційний максимум (220) сталевих зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 2)

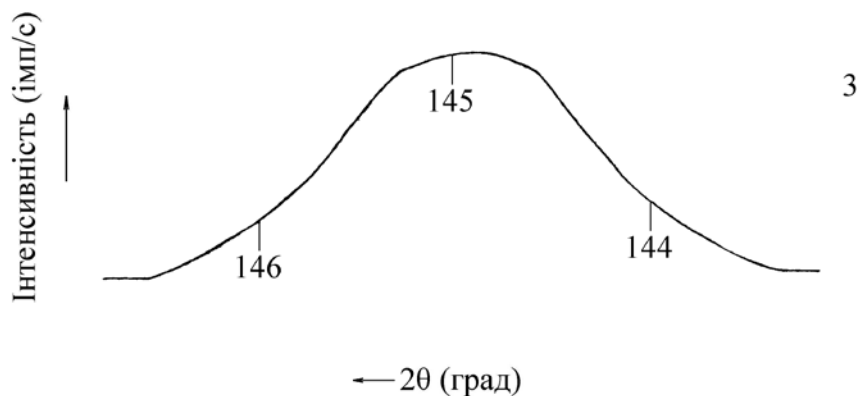


Рис. В.3 Дифракційний максимум (220) сталевих зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 3)

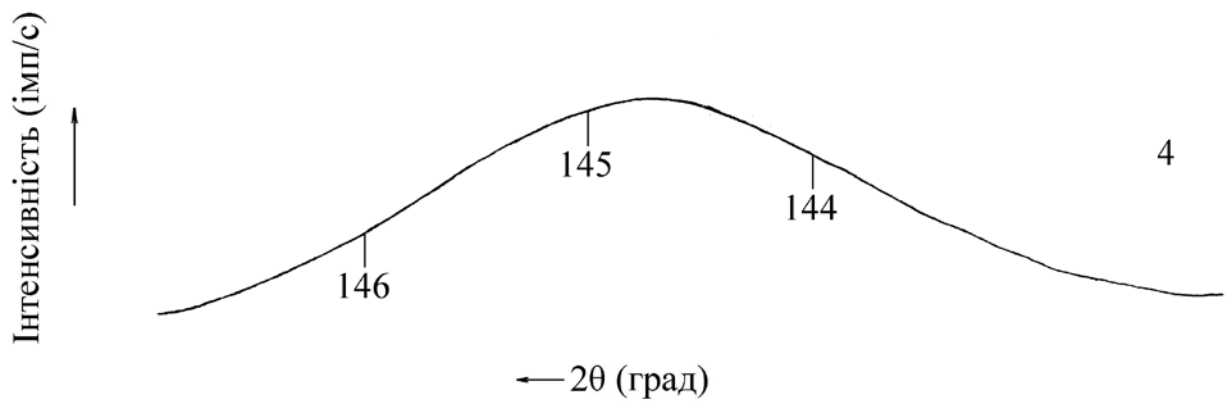


Рис. В.4 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 4)

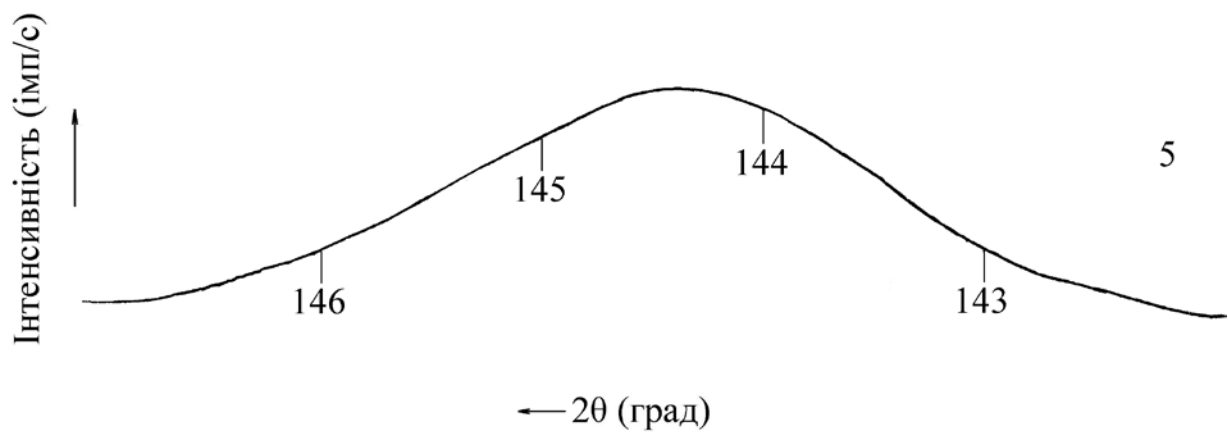


Рис. В.5 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 5)

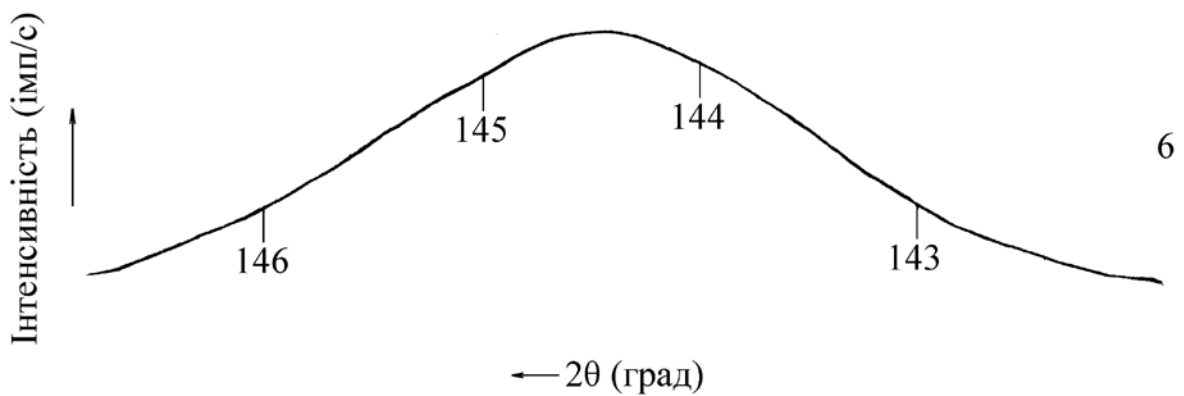


Рис. В.6 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 6)

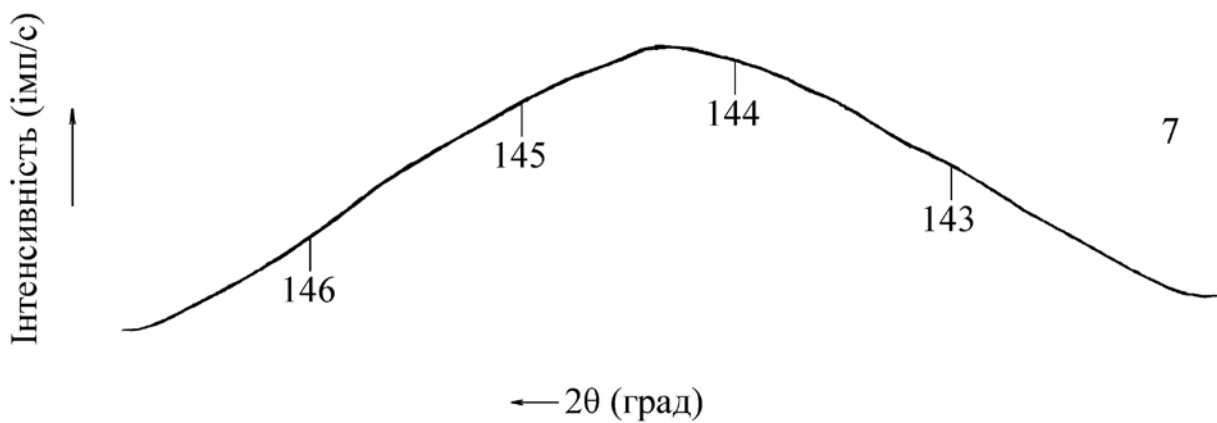


Рис. В.7 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 7)

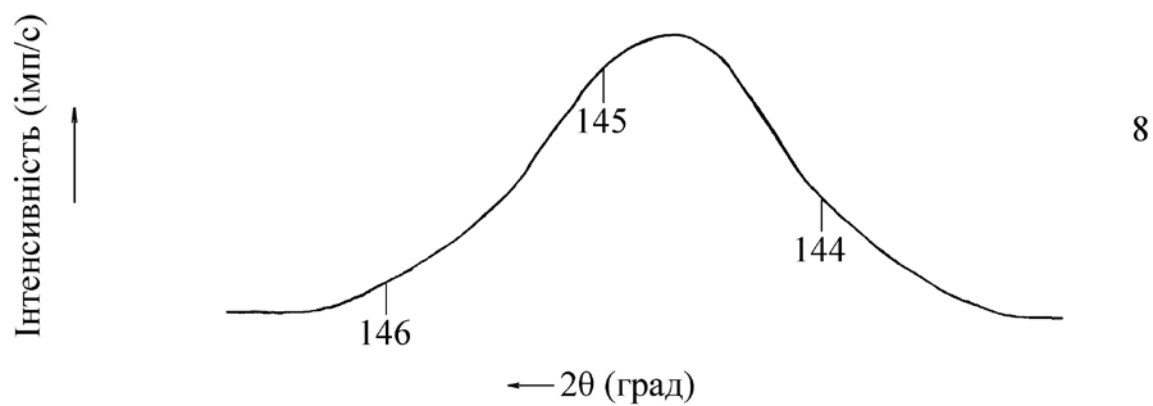


Рис. В.8 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 8)

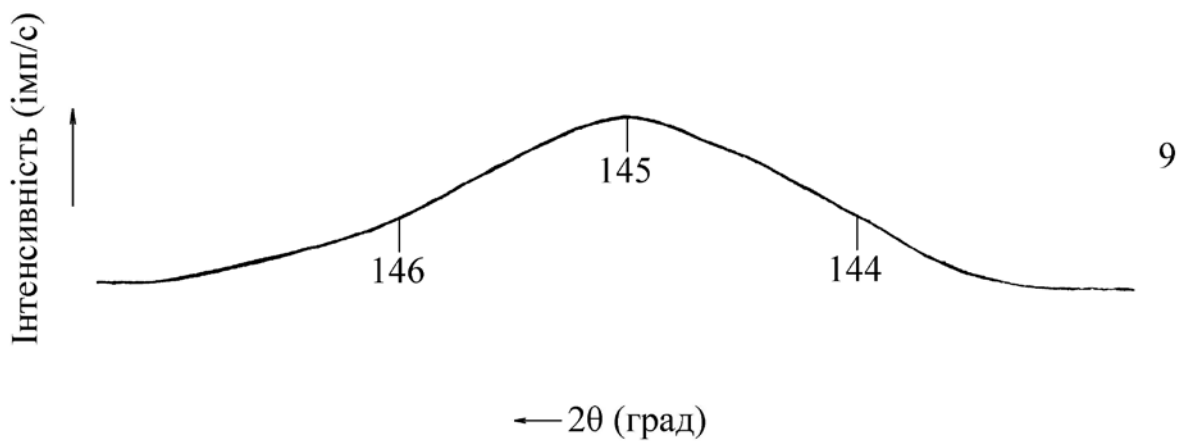


Рис. В.9 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe-K α (Варіант 9)

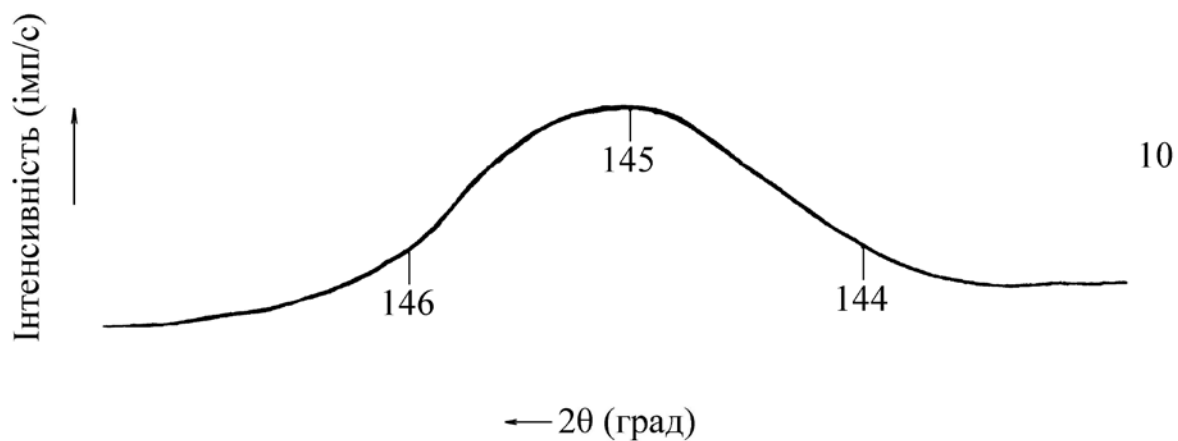


Рис. В.10 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_α (Варіант 10)

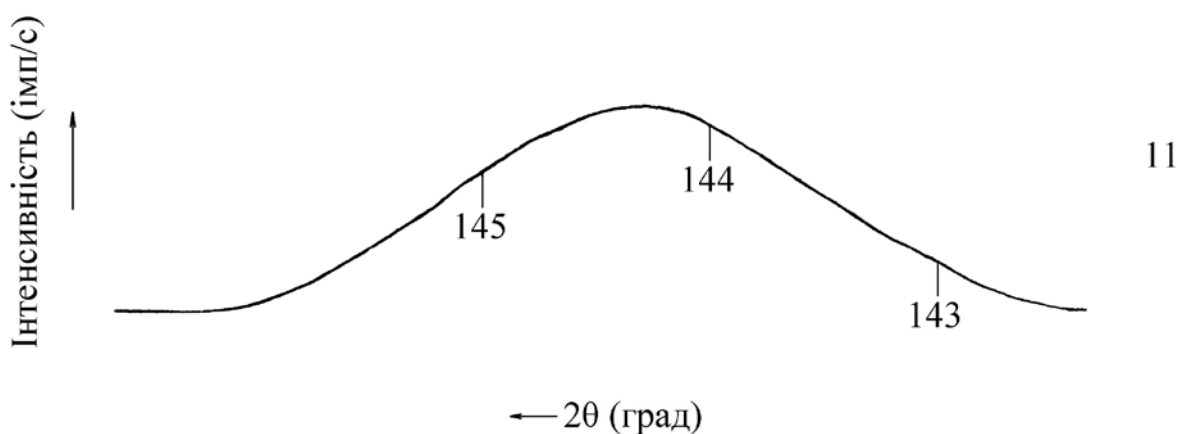


Рис. В.11 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_α (Варіант 11)

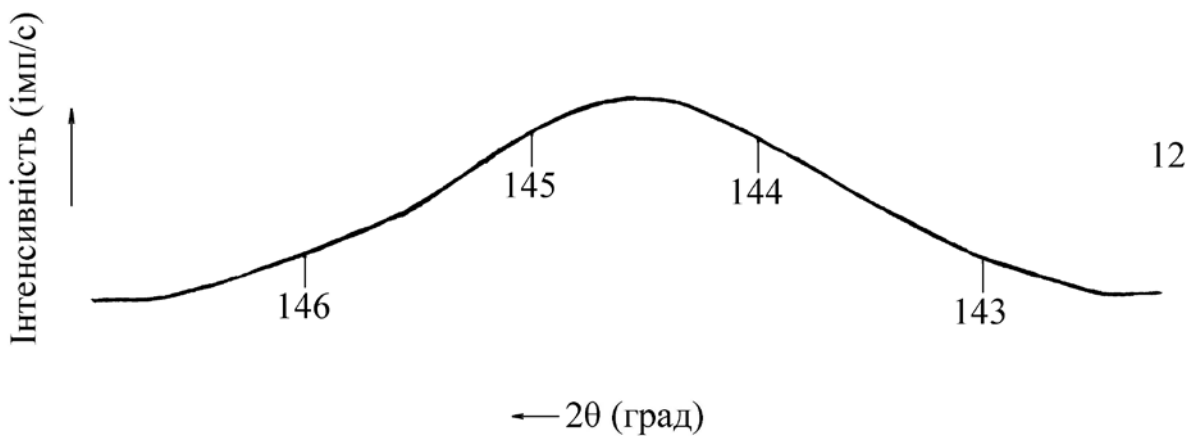


Рис. В.12 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_α (Варіант 12)

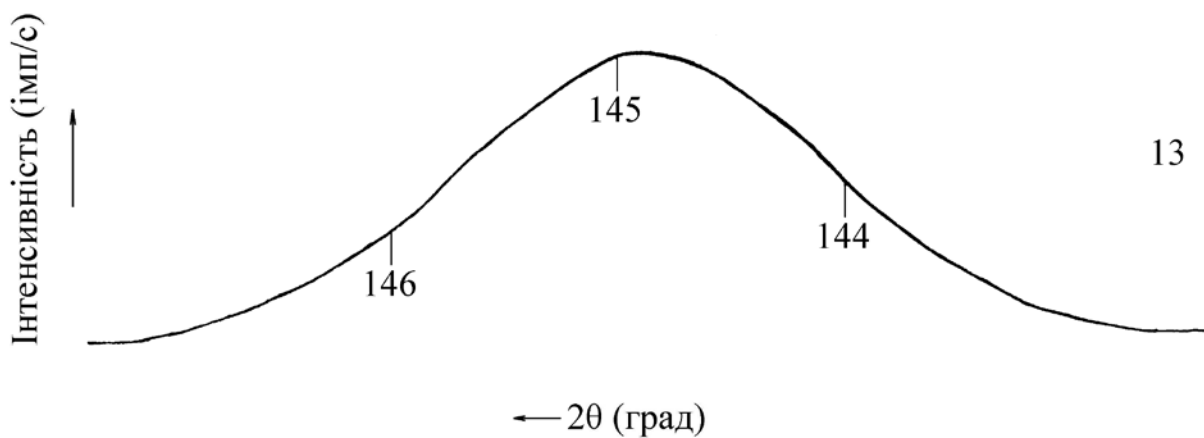


Рис. В.13 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_{α} (Варіант 13)

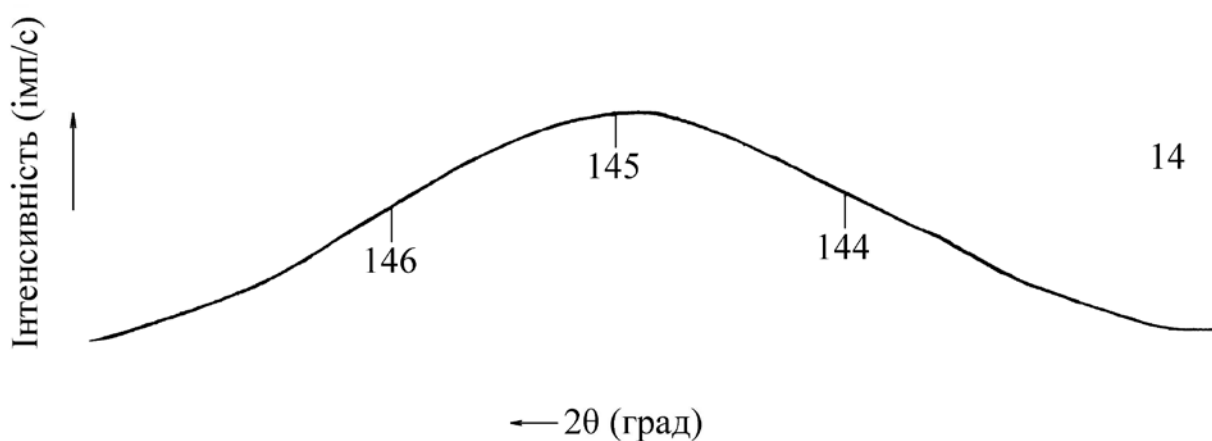


Рис. В.14 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_{α} (Варіант 14)

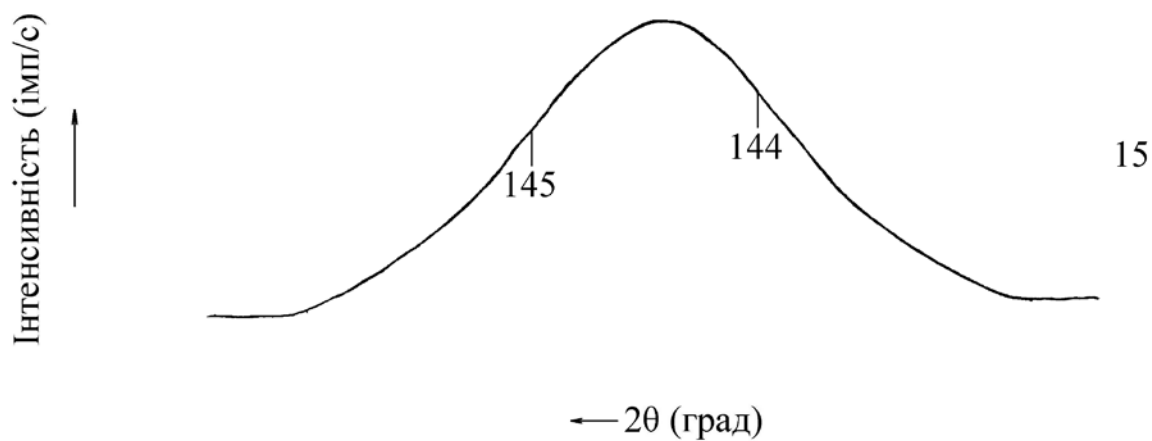


Рис. В.15 Дифракційний максимум (220) сталевго зразка матеріалу, випромінювання Fe- K_{α} (Варіант 15)