

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Холявік О.В., Коваль В.В., Сохан Д.В., Тітов А.В., Гожій С.П.

ОСНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ І ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра,
які навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка"*

Київ
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»
2022

**ОСНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ
ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ І ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**
Навчальний посібник з вибіркової компоненти "Основи експериментальних
досліджень" для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальності
131 Прикладна механіка усіх форм навчання. / Уклад. Холявік О.В., Коваль В.В.,
Сохан Д.В., Тітов А.В., Гожій С.П. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 124 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря
Сікорського (протокол № 5 від 26.05.2022 р.) за
поданням Вченої ради Навчально-наукового
механіко-машинобудівного інституту (протокол
№ 7 від 23.05.2022 р.)*

Електронне навчальне видання

**ОСНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ
ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ І ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

Навчальний посібник
з вибіркової освітньої компоненти
«ОСНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»
для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальності
131 Прикладна механіка
усіх форм навчання

Укладачі: *Ольга Віталіївна Холявік,
Віктор Вікторович Коваль,
Дмитро Володимирович Сохан,
Андрій Вячеславович Тітов,
Сергій Петрович Гожій*

Відповідальний редактор *А.Д. Лавріненко, кандидат технічних наук,
доцент*

Рецензент *О.В. Шевченко, доктор технічних наук,
професор*

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

Передмова	4
1 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ СТАТИЧНОГО І МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ	6
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТОДОМ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ	22
3 ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ШТАМПУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ТЕНЗОМЕТРІЇ	37
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ МІКРОСКОПІ DMI VICTORY (INVERTED METALLURGICAL MICROSCOPE) ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ	57
5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРУ КОРОБЧАСТОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ВИТЯГУВАННЯ	111
Перелік літературних джерел	124

Передмова

Необхідність вивчення навчальної дисципліни полягає в орієнтації здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня в широкому різноманітті сучасних експериментальних досліджень в машино- та літакобудуванні. Під час вивчення дисципліни слухачі не тільки ознайомлюються з низкою класичних і сучасних напрямів експериментальних наукових досягнень машинобудування, але і, на підставі порівняльного аналізу, їх результативності, ефективності, потенційних можливостей тощо визначають найбільш доцільні для конкретного виду досліджень. В якості основного джерела вихідної інформації є конкретні практичні навчальні і наукові джерела інформації в галузі машинобудування щодо експериментальних досліджень. Необхідно звернути увагу слухачів, що розгляд кожного конкретного напрямку наукових експериментальних досягнень проводиться на прикладах наукових робіт (PhD та докторських дисертацій) з детальним аналізом необхідності і доцільності проведення експериментальних робіт. При цьому важливим результатом є усвідомлення слухачем місця експериментальної складової і своєї (власної) роботи.

Мета навчальної дисципліни: формування у здобувачів знань і умінь використовувати отриману і засвоєну інформацію про експериментальні дослідження в науково-дослідній діяльності, зокрема у підготовці дисертації. Перевага вивчення даної дисципліни полягає в тому, що даючи основні уявлення про розвиток і загальні напрями експериментальних досліджень, вона надає фахівцеві методологію необхідну для усвідомлення застосування експерименту (експериментального підтвердження) в особистому науковому дослідженні.

Мета навчальної дисципліни. Метою навчальної дисципліни є формування у здобувачів вищої освіти здатності визначати доцільні (універсальні або спеціалізовані) способи проведення експериментальних досліджень. Обирати або ставити питання щодо проектування і застосовування відповідного оснащення і обладнання.

Основні завдання навчальної дисципліни. Згідно з вимогами до освітніх програм, здобувачі після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

- Знання: основних видів експериментальних досліджень і їх призначення; по оцінці і попередньому прогнозуванню щодо отриманих експериментальних результатів.
- Уміння: визначати елементи застосування і проведення експериментів при реалізації наукових досліджень.
- Набути досвід по застосуванню універсального експериментального оснащення і обладнання.

Дисципліна формує навички професійної науково-дослідної діяльності.

Дисципліна формує також не тільки навички професійної інженерної діяльності але і науково-дослідної.

Текст посібника побудований на значній кількості навчальної, інженерно-технічної та науково-практичної літератури, яка надана в перліку [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Характеристика розділів з прив'язкою до джерел інформації виглядає наступним чином:

1 розділ надає загальну науково-інженерну інформацію щодо експериментальних досліджень пружно-пластичного деформування металевих конструкційних матеріалів, зокрема в умовах статичного і малоциклового навантаження [1];

2 розділ розглядає класичний напрям експериментальних досліджень напружено-деформованого стану методом вимірювання твердості, також в ньому розглянуті практичні питання вимірювання твердості за допомогою мікротвердоміру оснащеного сучасними електронними засобами реєстрації [2, 7];

3 розділ стосується опису класичного напрямку експериментальних досліджень із застосуванням методу тензометрії на практичному прикладі визначення контактних напружень при проходженні технологічних операцій штампування [3, 7];

4 розділ стосується опису традиційного виду досліджень структури матеріалу за допомогою металургійного мікроскопу DMI VICTORY (inverted metallurgical microscope) та програмного забезпечення для аналізу зображень [4, 5, 7];

5 розділ розглядає застосування оригінального експериментального натурного моделювання форми заготовки витягнутого коробчастого виробу, в якому використовувалось спеціалізоване експериментальне устаткування [6].

1 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ СТАТИЧНОГО І МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Експериментальне вивчення кінетики накопичення пошкоджень в металевих конструкційних матеріалах проводилося з використанням лабораторної бази кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів НТУУ „КПІ”. Для визначення пошкоджуваності при пружно-пластичному деформуванні було застосовано сучасне вимірювальне обладнання, яке дозволяє отримувати експериментальні дані з високою точністю при різних режимах навантаження. Розроблена відповідна методика і програма проведення експериментів, які наведені у даному розділі.

Експериментальні стенди для вивчення процесу накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах

Для проведення експериментальних досліджень в рамках розробленої програми були використані випробувальні установки, що дозволяють реалізувати різні види простого та складного навантаження та контролювати хід проведення експерименту за допомогою сучасного програмного забезпечення.

Експериментальний стенд Ві-02-112

Випробувальний стенд Ві-02-112 (рис. 1) відноситься до випробувальних установок які забезпечують вимірювання параметрів експерименту з точністю, що не перевищує 1%. Він створений для проведення випробувань конструктивних матеріалів в умовах простого та складного режиму навантажень шляхом автоматичного виконання заданої за допомогою програмного інтерфейсу програми навантаження (деформування) у діапазонах до 500 кН за каналом осьової сили, до 2кНм за каналом крутного моменту та до ± 75 мм за каналом переміщення штока. Можливість одночасного моніторингу до шістнадцяти каналів даних дозволяє повною мірою контролювати процес проходження експерименту та створювати базу експериментальних даних для подальшої обробки та розрахунків. Канал керування вибирається безпосередньо оператором стенду та може бути заданий як силовий канал: навантаження осьовою силою, крутним моментом, або деформаційний канал: переміщення за штоком або тензометром.

Принципова схема установки показана на рис. 1.



При підготовці до експерименту зразок 1 встановлюється у відповідних різьбових фіксуючих елементах верхнього та нижнього самоцентруючихся гідравлічних захватів 2 та 3, які конструктивно виконані у вигляді гідроциліндрів високого тиску, відповідно. Верхній захват 2 під'єднаний до малого динамометра 5 через спеціальне різьбове кріплення. Малий динамометр 5 дозволяє проводити випробування у діапазоні навантажень до 100 кН за каналом осьового зусилля та до 2кНм за каналом крутного моменту. Малий динамометр 5, в свою чергу, з'єднано за допомогою високоміцних болтових з'єднань з динамометром великих навантажень 4 робочий діапазон якого за каналом осьових зусиль становить 500 кН. Проведення експериментальних досліджень у цьому діапазоні потребує демонтажу малого динамометра 5 та під'єднання верхнього захвата 2 безпосередньо до динамометра 4. Регулювання величини робочого простору випробувального стенду виконується за

допомогою переміщення рухомої траверси 6, до якої під'єднано динамометр 4. Положення рухомої траверси 6 регулюється за допомогою двох гідравлічних циліндрів 9, які змонтовані на станині випробувального стенду 14. Керування гідроциліндрами 9 здійснюється гідравлічним сервоклапаном 23, сигнали на який приходять з сенсорної панелі керування 10. Під час регулювання положення рухомої траверси 6, за допомогою алгоритму безпеки, відбувається автоматичне відімкнення всіх інших каналів керування стендом окрім каналу положення траверси керування яким здійснюється безпосередньо з сенсорної панелі 10. Фіксація кінцевого положення рухомої траверси 6 відбувається шляхом замикання двох гідрозамків 7 та 8 через, які керуються за допомогою сервоклапану 22 шляхом надходження на нього сигналів з сенсорної панелі 10. Окрім керування траверсою за допомогою сенсорної панелі 10 можуть бути виконані операції по фіксації гідравлічних захватів, фіксації зразка у захватах та регулювання положення штока.

Фіксація гідравлічних захватів відбувається після надходження відповідного сигналу на регульований гідравлічний сервоклапан 25, гідравлічна магістраль якого споряджена манометром, що дозволяє регулювати зусилля фіксації.

Остаточне положення зразка, перед закріпленням у гідравлічних захватах, досягається шляхом регулювання положення штока 11 з закріпленням на ньому нижнім захватом. Положення штока може регулюватися за допомогою сенсорної панелі 10, або персонального комп'ютеру 15, сигнали з яких потрапляють на сервоклапан керування штоком 28, який регулює потрапляння робочої рідини у відповідну порожнину гідроциліндра штока 12. Зворотній зв'язок за каналом положення штока 11 відбувається через надходження відповідного сигналу з датчика положення 20 на перетворювач 17, який з'єднано з контролером 16.

Закріплення зразка у захватах відбувається після надходження сигналу з сенсорної панелі 10 на регульований гідравлічний сервоклапан 24. Величина зусилля затискання зразка може бути відкоригована за допомогою механічного регулювання клапану 24. Контроль зусилля затискання зразка у захватах відбувається за допомогою манометра, яким споряджена магістраль даного клапана. При затисканні зразка сигнал за каналом осьового зусилля з динамометрів 4 або 5 через перетворювач 17 та контролер 16 потрапляє на комп'ютер керування 15, програмне забезпечення якого відстежує відхилення навантаження на зразок від 0, та у випадку наявності цього відхилення автоматично компенсує навантаження, яке виникло шляхом передачі відповідних команд по каналу керування штоком. Таким чином нівелюється зусилля, яке виникає при затисканні зразка.

Створення крутного моменту в системі відбувається за допомогою моментонавантажувача 13, який контролюється через клапан моментонавантажувача 27, керування яким здійснюється через персональний комп'ютер 15 та контролер 16. Для запобігання обертанню штока при встановленні зразка або при помилковому відпрацюванні команди на кручення, коли це не є потрібним, магістраль моментонавантажувача перекривається відсічним клапаном 26. Контроль кута закручування штока відбувається за допомогою імпульсного датчика кута повороту 32, зворотній сигнал від якого потрапляє прямо на контролер 16.

Безпосереднє керування випробувальним стендом здійснюється за допомогою персонального комп'ютера 15, сигнали керування з якого потрапляють на контролер керування 16, після чого – на контролер маслостанції 30 та на відповідні гідравлічні сервоклапани. Контролер маслостанції 30 відповідає за контролювання частоти струму роботи двигуна 31 у діапазоні від 0,2 до 400 Гц, яка може автоматично змінюватись відповідно до поточних потреб та за автоматичне блокування системи маслостанції при виникненні позаштатних ситуацій. Сама гідростанція 29 споряджена датчиками контролю температури робочої рідини та датчиками рівня робочої рідини, сигнали з яких надходять на контролер. Сигнали маслостанції мають високий пріоритет та при виникненні аварійної ситуації вся система випробувального стенду автоматично блокується незважаючи на те виконувалась під цей час експериментальна програма чи ні.

Вихідна магістраль маслостанції споряджена головним гідравлічним сервоклапаном 21 та манометром контролю тиску. Сервоклапан 21 контролює надходження робочої рідини по відповідним робочим каналам, які вже безпосередньо відповідають за переміщення робочих органів стенду.

Контролювання деформації зразка при проведенні експерименту може відбуватися за допомогою зчитування інформації з датчика 20 за каналом переміщення штока. Проте точність отриманих даних буде на порядок нижча ніж при використанні тензометрів. Тому випробувальний стенд забезпечує під'єднання відповідних тензометрів 18 та 19, які зібрані на повномостовій схемі, точність вимірювання яких становить 0,001 мм. Тензометр 18 має базу 25 мм та використовується при статичних випробуваннях. Робочий діапазон вимірювань цього тензометра становить -3 мм; +6 мм. Тензометр 19 має меншу базу вимірювань, яка становить 12,5 мм, та використовується при проведенні випробувань на мало- та багатоциклову втому. Діапазон вимірювань цього тензометра становить $\pm 0,5$ мм.

Перед початком проведення експерименту, за необхідності, проводиться підключення необхідних для проведення експерименту каналів виміру параметрів експерименту, після чого всі канали випробувальної установки, дані з яких будуть контролюватися, в обов'язковому порядку калібруються з застосуванням основної програми керування MTL 32 (рис.2) та вмонтованих шунтів. За потреби з застосуванням MTL 32 можна відкоригувати амплітуду та фазу сигналу відпрацювання параметру, що задається при проведенні експерименту, шляхом виконання тестового відпрацювання. Окрім цього в MTL 32 наявна функція встановлення нуля каналу та, для запобігання виходу експериментально контролюваного параметру за визначені безпечні межі, функція встановлення граничних значень експериментальних параметрів.



Рис. 2. Програма керування MTL 32

При проведенні випробувань при статичному або циклічному навантаженні використовуються вузькоспеціалізовані програми, які запускаються паралельно з основною програмою керування MTL 32 та відповідають за контроль та фіксацію експериментальних даних. Параметри експерименту при цьому задаються і контролюються шляхом вибору та застосування відповідного прикладного програмного забезпечення керування випробувальним стендом які встановлено на комп'ютері 15. Серед цих параметрів є: осьова сила, величина якої зчитується з динамометрів 4 або 5, крутний момент, величина якого зчитується з динамометра 5, величина переміщення, яке може бути отримане по каналу тензометрів 18 та 19 або по каналу переміщення штока, шляхом отримання сигналу з датчика осьового переміщення 20, кут закручування, який контролюється за датчиком кута закручування 32 у діапазоні $\pm 45^\circ$. Всі дані, окрім величини кута закручування, які були отримані під

час проведення експерименту потрапляють на комп'ютер 15 через перетворювач 17 та контролер 16. Сигнал з датчика кута закручування потрапляє безпосередньо на контролер 16, звідки – не комп'ютер 15.

Процес зміни вищевказаних параметрів у часі контролюється за допомогою підключення відповідних графіків, які виводяться на монітор комп'ютера. Ступінь відпрацювання каналу (або каналів) керування експериментом, які були задані на початку, також можна відстежувати в режимі реального часу, та, за потреби, вносити корективи в їх налаштування безпосередньо під час проведення експерименту.

Для проведення експериментальних досліджень по визначенню механічних властивостей матеріалів, кількості циклів до руйнування та кінетики накопичення пошкоджень використовувались наступні прикладні програми: monotonic application та test builder (функції fatigue test та multi step programming). Інтерфейс та порядок роботи в яких описано нижче.

Monotonic application (випробування на розтяг)

Інтерфейс цієї підпрограми представлено на рис.3.

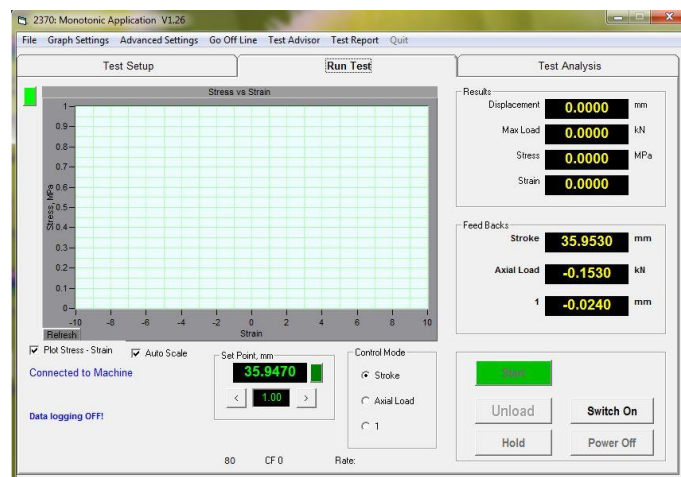


Рис. 3. Інтерфейс Monotonic Application

Додаток Monotonic Application може бути застосований при проведенні випробувань на розтяг або стиск. У цьому додатку можливе встановлення швидкості навантаження зразка у кН/хв або швидкості його деформування у мм/хв. Також, для підвищення точності при визначенні модуля Юнга, на початковій ділянці навантаження можливе встановлення швидкості навантаження(деформування), яка буде відрізнятися від швидкості на подальшій частині діаграми розтягу. Контроль за руйнуванням зразка відбувається за граничним переміщенням або падінням зусилля. За результатами експерименту програмою можуть бути автоматично розраховані характеристики міцності, пластичності та енергетичні характеристики матеріалу, що досліджувався.

Test builder (функції monotonic test, fatigue test та multi step programming)

Підпрограма Test builder містить у своєму складі набір функцій за допомогою яких можна реалізувати будь-який експеримент, якщо його реалізація відповідає можливостям експериментального стенду та охоплює більшість видів навантажень, зокрема – програмне, пропорційне, блочне та навантаження за допомогою сигналу, що задається у вигляді функцій.

Оболонка Test builder дозволяє встановлювати оператором частоту фіксації експериментальних даних та конвертувати результати експерименту у файл формату Excel.

Відповідно до поставлених задач досліджень були використані наступні функції оболонки Test builder:

1) fatigue test (рис.4). Вказана функція застосовується при проведенні експериментів в умовах циклічного навантаження. За її допомогою можлива реалізація м'якого та жорсткого режиму навантаження, причому завдання параметрів петлі навантаження можливе як через максимальні так і через амплітудні значення. Форма сигналу каналу навантаження також задається оператором та може бути вибрана у вигляді синусу, трапеції та пилки. За допомогою спеціальної функції у цій підпрограмі можна автоматично відстежувати величину зменшення модуля пружності при циклічному навантаженні.

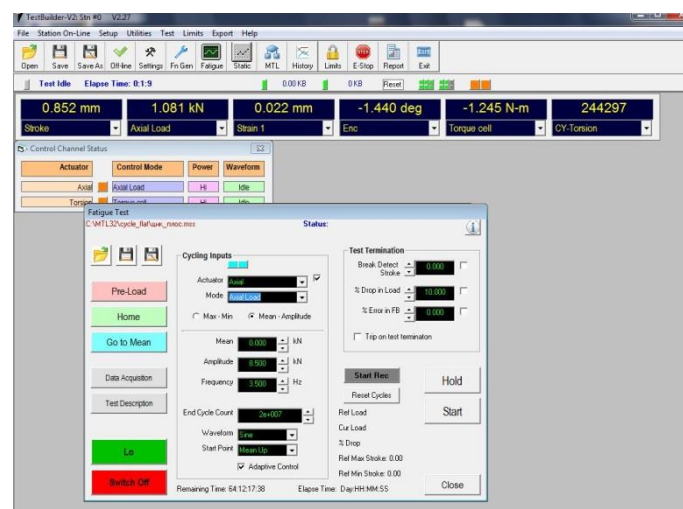


Рис. 4. Інтерфейс Test Builder (fatigue)

2) multi step programming (рис.5). За допомогою цієї підпрограми може бути реалізований будь-який режим навантаження (деформування), шляхом його розбиття на умовні кроки. Для кожного кроку може бути заданий параметр навантаження (сила, момент) або деформування (переміщення, кут закручування), форма сигналу, що задається та швидкість зміни цього параметру. При використанні підпрограми

можливе моделювання циклічного навантаження за налаштуваннями чи функціями користувача.

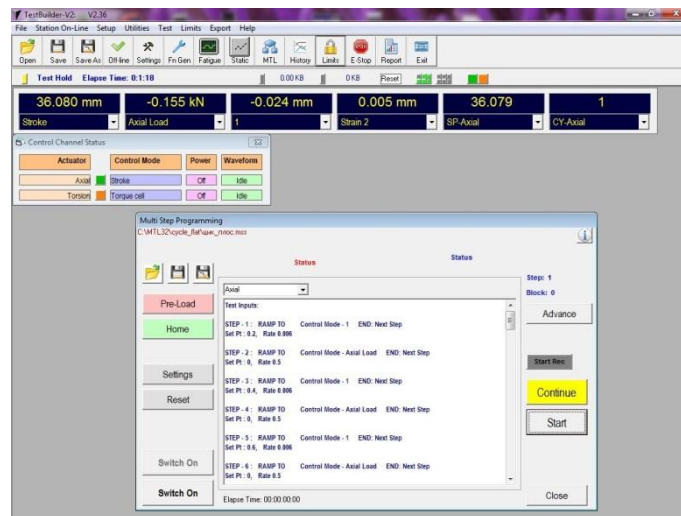


Рис. 5. Інтерфейс Test Builder (multi step programming)

Хід проведення експерименту, при застосуванні програмної оболонки Test Builder, можна контролювати як за допомогою виводу графіків зміни вибраних поточних величин, так і за конкретними величинами вибраних параметрів, які відображаються окремо у вигляді чисел.

Експериментальний стенд УМЭ-10ТМ

Для дослідження процесу накопичення пошкоджень у конструкційних матеріалах при їх пружно-пластичному деформуванні на кафедрі динаміки і міцності машин НТУУ „КПІ” було створено експериментальний стенд на базі установки УМЭ-10ТМ (рис.6). За допомогою модернізованої установки можливе навантаження зразка осьовою силою у діапазонах до 30 кН та крутним моментом у діапазоні до 200 Нм за заданими програмно траєкторіями навантаження.



Рис. 6. Випробувальний стенд УМЭ-10ТМ

Осьове навантаження зразка здійснюється за допомогою механічного приводу, швидкість переміщення нижнього активного захвату, який встановлено на траверсі, регулюється ступінчасто за допомогою механічної коробки швидкостей та плавно за допомогою сигналу керування, який надходить з персонального комп'ютера. Навантаження крутним моментом здійснюється за допомогою редуктора, який встановлено на рухомій траверсі та оснащений окремим приводом, сигнал на який приходить безпосередньо з блока керування установкою. Верхній нерухомий захват з'єднано з динамометром, який зібрано на повномостовій схемі. Динамометр дозволяє вимірювати осьове зусилля з точністю до 1Н та крутний момент – до 0,5 Нм. Оскільки метод дослідження кінетики накопичення пошкоджень на даному стенді базується на визначенні питомого опору зразка, то захвати та вимірювальна система за каналами поздовжньої та поперечної деформації створені у струмоізовьованому виконанні.

Положення зразка при його встановленні у механічних захватах, регулюється за допомогою ручного керування переміщенням траверси, зусилля затискання при встановленні може бути проконтрольовано за допомогою програмного інтерфейсу керування проведенням експерименту або електронного табло, що встановлено на блоці керування. За даним табло також є можливість контролювати покази за каналами крутного моменту, поздовжнього видовження та кута закручування.

Поздовжня деформація зразка вимірюється за допомогою двох симетрично розташованих оптоелектронних датчиків MEGATRON MS30-1-TTL з точністю 0,001 мм шляхом отримання програмою керування середнього значення за даними двох відповідних каналів тензометрів. Система виміру поздовжньої деформації розрахована на застосування для діапазону баз зразків до 30 мм.

Окрім вимірювання поздовжньої деформації зразка та кута закручування модернізований експериментальний стенд дозволяє контролювати зміну діаметру зразка круглого поперечного перерізу з точністю 0,005 мм за допомогою сконструйованої важільної системи, вимірювальним елементом якої є оптоелектронний датчик MEGATRON MS30-1-TTL.

При проведенні випробувань сигнали керування з комп'ютера потрапляють на двигуни приводів та відбувається навантаження зразка. Під час проведення експерименту сигнали каналів осьової сили, крутного моменту, поперечного та поздовжнього переміщення або кута повороту потрапляють на відповідні інтерфейсні плати комп'ютера, де вони певним чином обробляються та аналізуються програмою керування модернізованою установкою. Програма керування аналізує наявність

зворотного зв'язку по кожному каналу та у випадку розриву ланцюга каналу автоматично зупиняє процес проведення експерименту.

Модернізована установка УМЭ-10ТМ сконструйована таким чином, що дозволяє проводити виміри поточного електроопору зразка, для чого в її вимірювальній системі створено окремий канал. Даний канал було модернізовано шляхом заміни старої системи виміру. Нова вимірювальна система (рис.7) дозволяє підвищити точність проведення вимірювань та складається з мікроомметра НІОКІ 3541 діапазон роботи якого становить $0,1\mu\Omega - 110\text{ M}\Omega$, комутаційних кабелів низького опору з підвищеним захистом від електромагнітних перешкод та окремої USB-плати. Вона дозволяє проводити прямі вимірювання величини електричного опору.

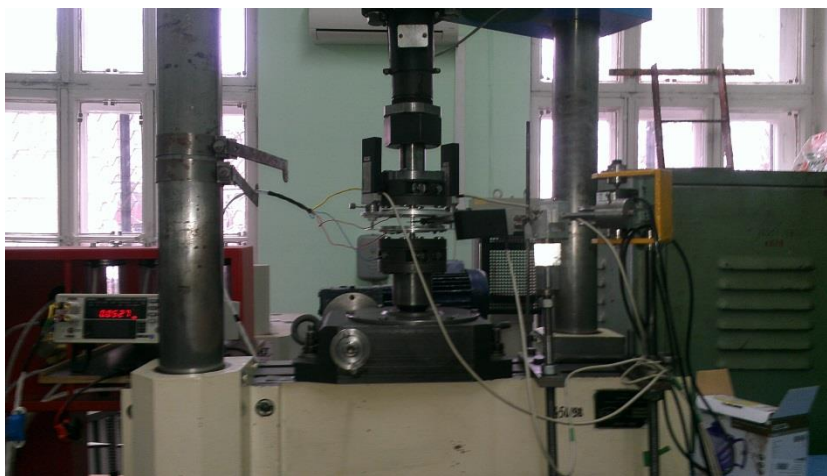
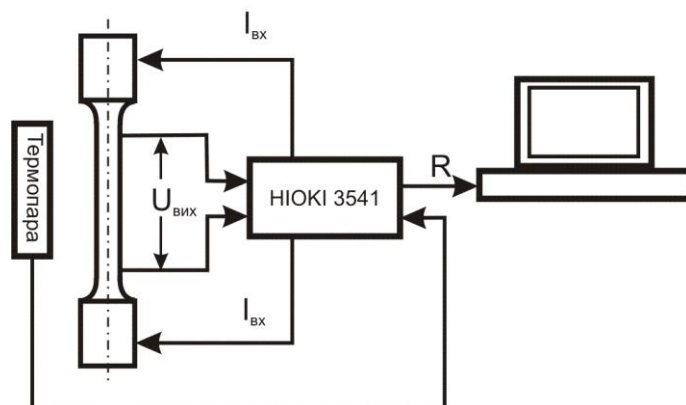


Рис. 7. Вимірювальна система за каналом електроопору стенду УМЭ-10ТМ

Мікроомметр має два канали, один з яких використовується для подачі струму на досліджуваний зразок, а за іншим каналом з робочої зони зразка знімається величина виміряної напруги. Величина струму, необхідного для забезпечення відповідної точності вимірювань, автоматично визначається мікроомметром та залежить від робочого діапазону значень електричного опору. Величина струму та виміряного напруження автоматично використовуються ним при вимірах поточного електроопору, яке передається на комп'ютер керування. Частота зчитування даних та їх розрахунок може варіюватися в залежності від вибраного режиму роботи мікроомметра. Для

підвищення точності вимірювань у мікроомметра наявна функція самокалібрування та врахування впливу температури оточуючого середовища на величину виміряного електроопору.

Керування стендом здійснюється за допомогою комп'ютерної програми Nadijnist v.2.0, яка була відповідним чином модифікована, а саме: було програмно підключено та відкалібровано новий канал вимірювання поточного електроопору зразка, розроблено та реалізовано можливість блочного навантаження, при якому у рамках кожного блоку могли бути задані окремі параметри навантаження (деформування) та їх швидкість. Даний режим дозволяє проводити експериментальні дослідження за наявності ділянок розвантаження у автоматичному режимі. При цьому здійснюється побудова кінетичної діаграми накопичення пошкоджень через параметри зміни питомого електричного опору.

Програма керування випробувальним стендом Nadijnist v.2.0 дає можливість ефективно керувати процесом проведення експерименту, графічно відображати поточні величини вимірюваних параметрів за допомогою відповідних графіків, вручну регулювати частоту обертання двигунів осьового та моментного каналів навантаження, а також контролювати роботу приводів двигунів на предмет виникнення аварійної ситуації. Всі значення, отримані в результаті проведення експерименту можуть бути збережені у текстовому форматі, або форматі Excel, причому оператором може регулюватись частота запису даних як перед початком, так і під час проведення експерименту.

Програма досліджень та методика визначення характеристик металевих матеріалів

Для визначення основних механічних характеристик досліджуваних матеріалів, а також для експериментального визначення кінетики накопичення пошкоджень для умов статичного та малоциклового навантаження була розроблена програма проведення експериментальних досліджень, яка складається з наступних пунктів:

- 1) проведення експериментів по визначенню характеристик міцності та пластичності, визначенню повної діаграми розтягу з урахуванням ділянки за границею міцності, а також дослідження особливостей процесу накопичення пошкоджень при статичному навантаженні зразків матеріалів, що розглядались у роботі. Зокрема, побудова експериментальної кінетичної кривої накопичення пошкоджень при статичному навантаженні та визначення впливу неоднорідності напруженого стану на величину пошкоджуваності матеріалу, розрахованої за зміною питомого електроопору;

2) проведення експериментів по визначенню циклічних характеристик розглянутих у роботі матеріалів при малоциклового навантаженні (м'який режим навантаження, симетричний цикл): циклічного стану матеріалів, відповідних параметрів функцій циклічного зміцнення або знеміцнення, кількості циклів до руйнування. Визначення експериментальних кривих довговічності для гладких зразків та зразків з концентратором, та побудова кінетичних кривих накопичення пошкоджень.

У якості матеріалів, що досліджувались було вибрано наступні металеві конструкційні матеріали 15ХСНД, 18Х2Н4ВА, 12Х18Н10Т, 07Х16Н6, ВТ22, Д16Т, механічні властивості яких наведено далі.

Відповідно до поставлених задач та експериментальних стендів на яких ці задачі вирішувались при випробуваннях були використані наступні типи зразків:

1) зразки для проведення випробувань по визначенню механічних характеристик матеріалів та дослідження кінетики накопичення розсіяних мікропошкоджень при розтязі на модернізованій випробувальній установці УМЕ- 10ТМ (рис. 8)

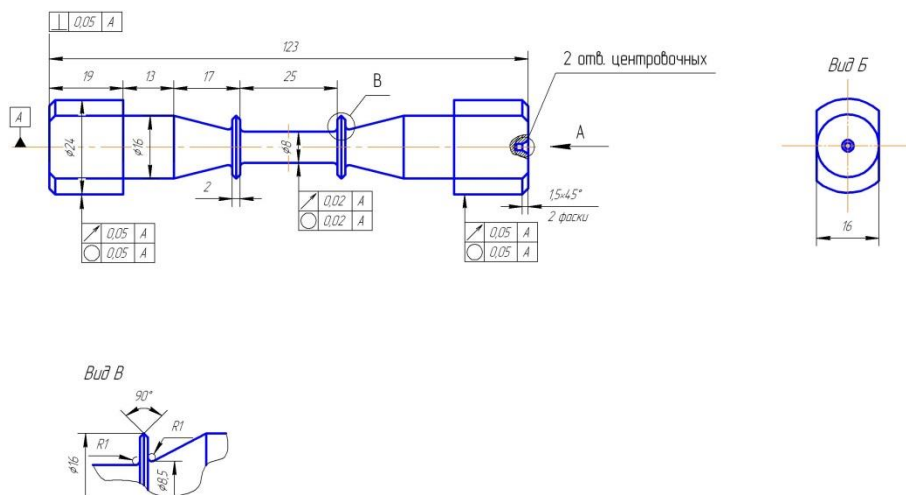


Рис. 8. Типовий зразок для випробувань на розтяг
на випробувальній установці УМЕ-10ТМ

2) зразки для визначення впливу виду напруженого стану на величину пошкоджуваності матеріалу для проведення досліджень на випробувальній установці УМЕ-10ТМ (рис. 9). Радіуси проточок зразків становлять 2 мм, 4 мм, 7 мм та 10 мм.

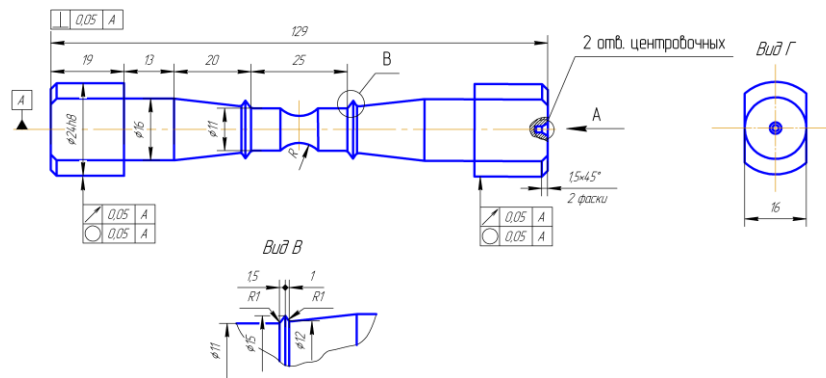


Рис. 9. Зразок для дослідження впливу виду напруженого стану
для випробувальної установки УМЕ-10ТМ

3) зразки для проведення випробувань по визначенню механічних характеристик при розтязі та для проведення випробувань на малоциклову втому на випробувальному стенді Ві-02-112 (рис. 2.10), зокрема, зразки з концентратором у вигляді кільцевої проточки.

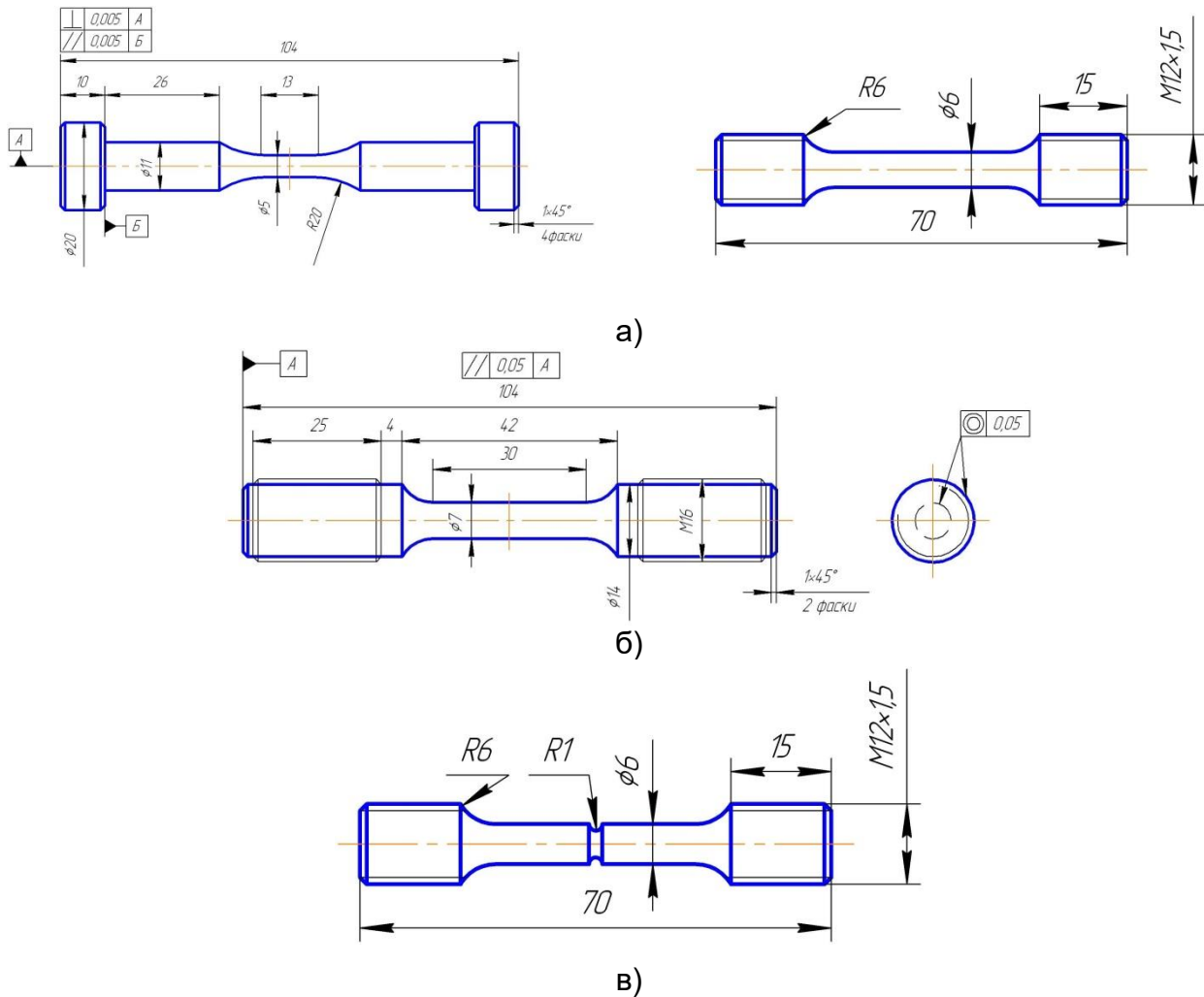


Рис.10. Зразки для механічних випробувань на випробувальному стенді Ві-02-112:
а) зразок для на малоциклову втому, б) зразок для випробувань на розтяг,
в) зразок з концентратором у вигляді кільцевої проточки

Геометричні розміри зразків контролювались за допомогою цифрового мікрометра та цифрового штангенциркуля, точність виміру яких складає 0,001 мм, дійсні параметри концентратора перевірялись на інструментальному мікроскопі БМИ- 1.

Запис експериментальних даних за каналами контролю становив: для модернізованої установки УМЕ-10ТМ – 2 Гц, для випробувального стенду БИСС - 200 Гц.

Характеристиками, що визначались при статичному навантаженні були: модуль Юнга, модуль Юнга при розвантаженні (при визначення величини залишкової пластичної деформації), межа пропорційності, межа текучості, межа міцності, відносне поперечне видовження, відносне поперечне звуження, коефіцієнт зміцнення. Окрім цього проводилися заміри рівня пошкоджуваності матеріалів при їх деформуванні.

Початковий модуль пружності визначався згідно ГОСТ 1497-84

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta l} \cdot \frac{l_0}{F_0},$$

де ΔP - приріст навантаження, Δl – приріст довжини зразка, l_0 – довжина зразка у початковому стані, F_0 – початкове значення площі поперечного перерізу зразка.

Модуль пружності при розвантаженні (рис 11) визначався за допомогою лінійної апроксимації ділянки розвантаження за допомогою методу найменших квадратів

$$E = \frac{n \sum_{i=1}^n \sigma_i \varepsilon_i - \sum_{i=1}^n \sigma_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_k \right)^2}, \quad (2.2)$$

де n – кількість точок виміру величин напружень та деформацій σ_i , ε_i

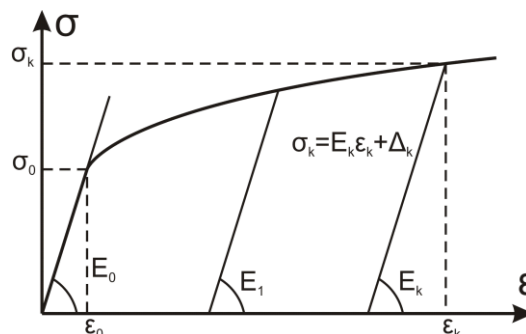


Рис. 11. Визначення модуля Юнга при розвантаженні

Межа пропорційності визначалася згідно ГОСТ 1497 (рис. 12).

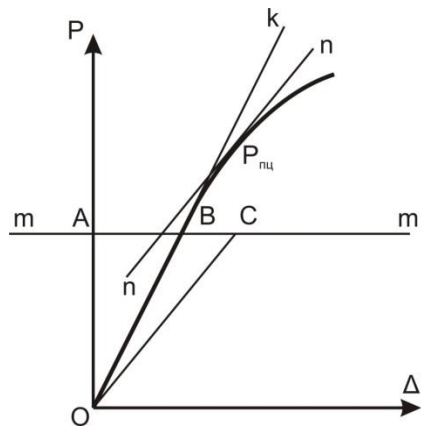


Рис. 12. Визначення межі пропорційності

Відповідно до методики розрахунку з початку координат потрібно провести пряму Ok , яка співпадає з лінійною ділянкою діаграми розтягу, після чого на довільному рівні проводиться пряма $m-m$ паралельно вісі абсцис і на цій прямій відкладається відрізок BC що дорівнює половині відрізка AB , де точка B – це точка перетину прямих Ok та $m-m$. Через точки O та C проводиться пряма, після чого паралельно цій прямій проводиться дотична до діаграми розтягу – пряма $n-n$. Точка дотику, в цьому випадку, визначить межу пропорційності:

$$\sigma_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0},$$

де P_{nc} – навантаження, визначене точкою дотику прямої $n-n$ та діаграми розтягу.

Межа текучості, для металевих матеріалів, у яких була відсутня площадка текучості визначалась згідно ГОСТ 1497:

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0},$$

де $P_{0.2}$ – зусилля на діаграмі деформування, визначене з урахуванням допуску на величину пластичної деформації, що дорівнює 0,2%. Для сталі 15ХСНД, на діаграмі розтягу якої спостерігався «зуб текучості», границя текучості визначалась згідно додатку 7 ГОСТ 1497.

При розрахунку коефіцієнту зміцнення діаграми деформування було застосовано метод найменших квадратів щодо визначення коефіцієнтів степеневої геометричної регресії, яка має вигляд $y = px^q$. Оскільки ліва і права частина цього виразу можуть бути прологарифмовані, то в результаті отримаємо:

$$\ln \sigma = \ln p + q \ln \varepsilon,$$

або, якщо зробити відповідні заміни у вигляді: $f(z) = \ln \sigma$, $Z = \ln p$, $z = \ln \varepsilon$ одержимо лінійну функцію у вигляді: $f(z) = Z + qz$, а отже прийдемо до задачі знаходження коефіцієнтів лінійної регресії методом найменших квадратів]:

$$q = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln \sigma_i \ln \varepsilon_i - \sum_{i=1}^n \ln \sigma_i \sum_{i=1}^n \ln \varepsilon_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln \varepsilon_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln \varepsilon_i \right)^2},$$

$$p = \exp \left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \ln \sigma_i - b \sum_{i=1}^n \ln \varepsilon_i \right) \right).$$

У випадку малоциклового навантаження модуль Юнга при розвантаженні для додатного і від'ємного напівциклу визначався згідно залежності, циклічна границя пропорційності у кожному напівциклі – відповідно до методики представленої на рис. 12.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТОДОМ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ

- Метод вимірювання твердості заснований на припущенні про те, що між твердістю деформованого металу H та інтенсивністю напружень σ_i , при його деформуванні існує однозначна функціональна залежність/відповідність. Припущення про існування такої функціональної залежності було підтверджено багатьма дослідниками.

- Таким чином, якщо заздалегідь встановити для досліджуваного металу функціональний зв'язок між його твердістю H і ступенем деформації ϵ_i , а отже, і інтенсивністю напружень σ_i , то по заміряній твердості в досліджуваних зонах деформованої заготовки і для певного матеріалу можна судити про інтенсивності деформацій і напружень в відповідній стадії формозміни.

- При дослідженні напружено-деформованого стану використовують різні методи визначення твердості. Вибір методу вимірювання твердості залежить від розмірів досліджуваної моделі або області пластичної деформації, ступеня неоднорідності, деформацій тощо.

- Умови проведення випробувань по вимірюванню твердості визначені ще в радянські часи по ГОСТ 9012-59 (по Брінеллю), ГОСТ 2999-75 (по Віккерсу) і ГОСТ 9450-76 (визначення мікротвердості).

Методика дослідження напружено-деформованого стану (НДС) металу єдина для будь-яких способів вимірювання твердості. За результатами випробування металу на розтягування або стиснення будується діаграма залежності: твердість H від інтенсивності напружень σ_i . При випробуванні на стиск необхідно прийняти заходи для виключення впливу сил тертя на контактних поверхнях. Для цього можна використовувати, наприклад, циліндричні зразки з виточками на торцях, які заповнюються під час випробування мастилом.

Після випробування на розтягування зразки розрізають по діаметральному перетину і в різних перетинах шийки вимірюють твердість.

Ступінь деформації (ϵ_i) в даному перетині визначається виразом:

$$\epsilon_i = \ln \frac{d_i}{d_0}$$

де d_i , d_0 – поточний і початковий діаметри зразка.

При випробуванні на стискання необхідно осаджувати кілька зразків з різними ступенями деформації і після вимірювання твердості в діаметральному перетині, визначити її середнє значення для кожного ступеня деформації.

Ступінь деформації в цьому випадку визначається формулою:

$$\epsilon_i = \ln \frac{h}{h_0}$$

де h , h_0 - поточна і початкова висота зразка.

Детального аналізу НДС металу за допомогою цього методу виконати не можна, однак в силу порівняно невеликої трудомісткості він знаходить застосування в

експериментальних дослідженнях в тих випадках, коли визначення двох параметрів НДС - інтенсивності деформацій ε_i і напружень σ_i - досить для вирішення поставлених завдань. До таких досліджень відносяться визначення меж осередку деформації, якщо він охоплює лише частину обсягу деформованого тіла, а також визначення ліній рівного рівня напружень і деформацій.

Твердість — властивість матеріалу протидіяти проникненню в нього іншого тіла.

Твердість не є фізичною величиною, оскільки не входить в жодне з фізичних рівнянь, а лише у емпіричні формули, тобто є порядковою величиною. Тому, в Міжнародній системі одиниць SI, яка побудована на базі Міжнародної системи фізичних величин, немає одиниці для вимірювання твердості. Твердість вимірюється за різними порядковими шкалами. Характерною особливістю таких шкал є відсутність одиниці вимірювання, тобто ці шкали є неметричними.

Випробування на твердість за Віккерсом — метод визначення твердості за величиною відбитка, залишеного алмазним наконечником (індентором) у формі чотирикутної піраміди, яка втискується у поверхню під дією навантаження, прикладеного протягом певного часу (рис.1). Твердість обчислюється як відношення зусилля, прикладеного до наконечника, до площі похилої поверхні відбитка; одиницею твердості служить МПа. Твердість, визначена за цим методом, позначається HV.

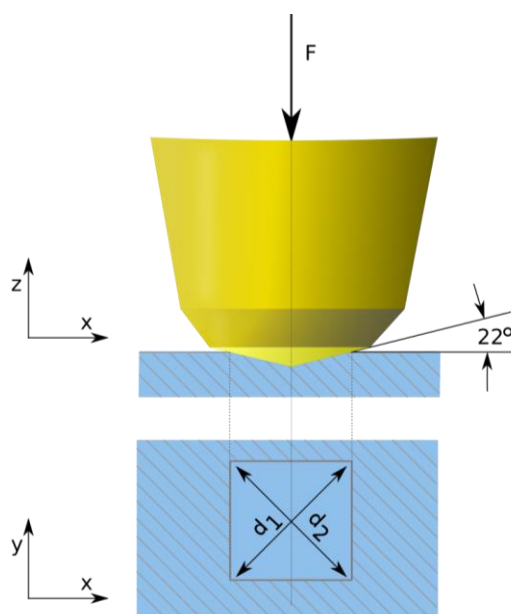


Рис. 1. Схема вимірювання твердості за Віккерсом
(жовтим – індентор, блакитним – зразок)

Невелике навантаження, мала глибина відбитка, визначення довжини діагоналі відбитка за допомогою мікроскопа вимагають ретельної підготовки поверхні зразків, у тому числі й полірування, особливо для вимірювання мікротвердості. При вимірюванні твердості на криволінійних поверхнях треба використовувати поправки, які наведені у додатку В до стандарту ДСТУ ISO 6507-1:2007.

Індентор — алмазна правильна чотиригранна піраміда з кутом при вершині $\alpha = 136^\circ$. Зусилля до індентора прикладають плавно, без ударів і вібрації протягом від 2 с до 8с. Навантаження — 9,8 (1 кгс) ... 980 (100 кгс) Н, тривалість дії зусилля 10...15 с.

На поверхні зразка залишається квадратний у плані відбиток, діагоналі якого d_1 та d_2 використовуються для розрахунків середнього арифметичного значення

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

де d_1 , d_2 – діагоналі відбитку (рис.1).

При цьому різниця діагоналей відбитка не повинна перевищувати 2% від меншої з них. Вимірювання діагоналей завдовжки до 0,2 мм повинно проводитись з похибкою не більшою за $\pm 0,001$ мм і для діагоналей довших за 0,2 мм — з похибкою не більшою за $\pm 0,5\%$.

Випробування проводять за кімнатної температури у межах від 10°C до 35°C.

Товщина зразка (деталі) повинна бути для сталевих виробів не меншою за 1,2 від середньої довжини діагоналі відбитка, для кольорових металів — не меншою за 1,5 від довжини діагоналі відбитка. Відстань від центра відбитка до пружка зразка має бути не меншою за 2,5 середньої довжини діагоналі відбитка для сталі, мідних сплавів і не меншою за 3 довжини діагоналі для легких металів та сплавів. Відстань між центрами сусідніх відбитків має бути не менше ніж втричі більшою за середні довжини діагоналей відбитків для сталей, мідних сплавів і не менше довжини шести діагоналей для легких сплавів.

Повірка чи калібрування твердомірів здійснюють за стандартом ДСТУ ISO 6507- 2:2008. У цьому ж стандарті сформульовані й вимоги до інденторів.

Твердість залежно від розмірів відбитка та прикладеного зусилля визначають за формулою

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2},$$

де F — зусилля, Н;

S — площа поверхні відбитка, мм²;

d — середня діагональ відбитка, мм;

або у разі вимірювання на плоских поверхнях за таблицями, які наведені в ДСТУ ISO 6507-4:2008

Для $F = 294,2$ Н (30 кгс) і часі витримки 10...15 с твердість позначають без зазначення умов випробування: 500 HV

Для інших умов випробувань, наприклад для навантаження 98,07 Н (10 кгс) і часу витримки 40 с, твердість позначають як: 240 HV 10/40

Випробування на твердість за Брінеллем — спосіб визначення твердості матеріалів вдавллюванням на спеціальному приладі сталеві загартовані кульки (діаметром 10; 5 або 2,5 мм) в досліджуваний зразок під дією заданого навантаження протягом певного часу (10—30 с) (рис. 2).

Метод запропонував шведський інженер Юхан Брінелль (швед. Johan August Brinell) в 1900 році.

Цей метод відноситься до способів оцінки твердості, що базуються на принципі вдавллювання індентера (полірованої загартовані сталеві кульки) в матеріал. Випробування проводиться таким чином: спочатку дають невелике попереднє навантаження для встановлення початкового положення індентера на зразку, потім додається основне навантаження, зразок витримують під дією навантаження протягом

10-30 с, вимірюється глибина вдавлювання, після чого основне навантаження знімається. При визначенні твердості за методом Брінелля, на відміну від методу Роквелла, вимірювання проводять до пружного відновлення матеріалу. Індентор вдавлюють в поверхню випробовуваного зразка (завтовшки не менше 4 мм) з регламентованим зусиллям.

Випробування твердості за Брінелля проводиться на твердомірі ТК (рис.2).

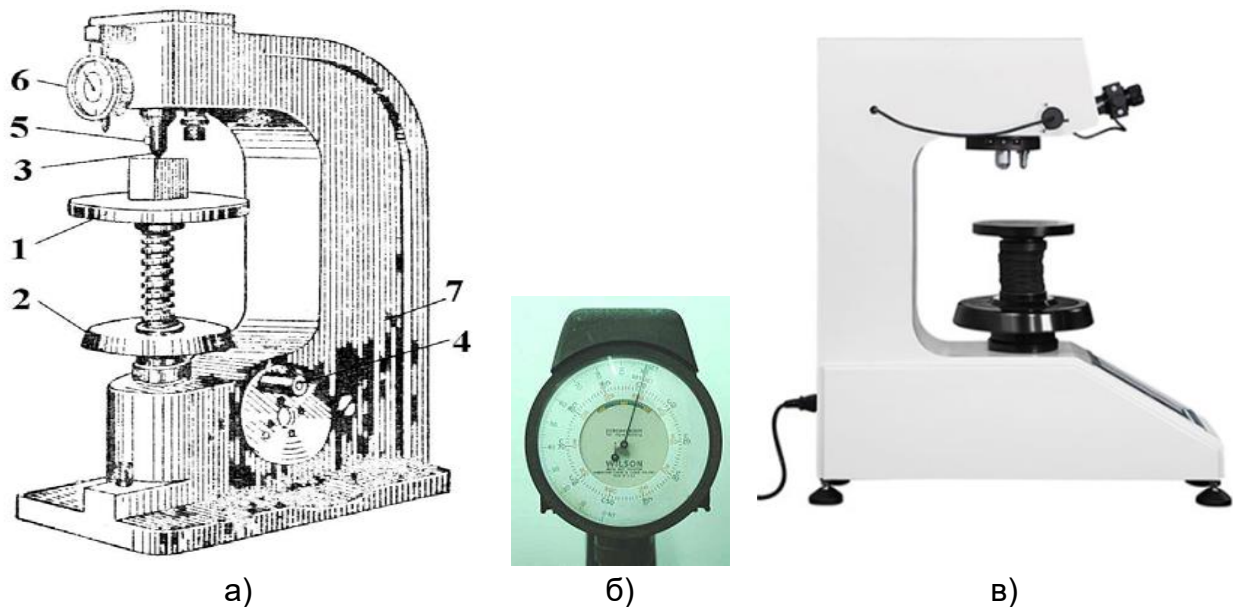


Рис. 2. Твердомір ТК (а), шкала для визначення глибини вдавлювання (б), вигляд сучасного твердоміра з електронними засобами реєстрації

У іншому варіанті зусилля збільшується до досягнення регламентованої глибини впровадження.

Твердість за Брінеллем HB розраховується як «прикладене навантаження», ділене на «площу поверхні відбитку»:

$$HB = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

де P — прикладене навантаження, кПа;

D — діаметр кульки, мм;

d — діаметр відбитку, мм,

або за формулою:

$$HB = \frac{P}{\pi Dh}$$

де h — глибина вдавлювання індентера.

- Метод Віккерса. При визначення твердості по Вікерсу в поверхню зразка вдавлюють чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136 °. Відбиток виходить у вигляді квадрата, діагональ якого вимірюють.

- На практиці твердість по Вікерсу визначають за спеціальними таблицями (за значенням діагоналі відбитка). Твердість по Вікерсу вказується в одиницях HV (Hardness Vickers).

- Метод Віккерса застосовують головним чином для матеріалів, що мають високу твердість, а також для випробування на твердість деталей малих перетинів або тонких поверхневих шарів. Числа твердості по Віккерсу і по Брінеллю для матеріалів, мають твердість до 450 HB, практично збігаються.

- За значеннями твердості HV можна оцінити тимчасовий опір (межа міцності), межу плинності, модуль пружності і ін. Експериментальна залежність між HV і тимчасовим опором має майже прямолінійний характер, тобто межа міцності при розтягуванні приблизно дорівнює $0,345 \times HV$.

Найпоширеніші діаметри кульки — 10, 5, 2,5 і 1 мм, навантаження — 187,5 кгс, 250 кгс, 500 кгс, 1 000 кгс і 3 000 кгс. Для вибору діаметра кульки зазвичай використовують наступне правило: діаметр відбитку повинен лежати в межах 0,2-0,7 діаметра кульки. У методиках ISO і ASTM об'єднані метод з однією кулькою і різними навантаженнями та метод із застосуванням різних кульок, а також дана формула обчислення твердості, не залежної від навантаження.

Для визначення твердості по методу Брінелля використовують твердоміри, як автоматичні, так і ручні.

Недоліки

Метод можна застосовувати тільки для порівняно м'яких матеріалів через кінцеве значення твердості самого індентора. Як альтернатива можливе застосування кульок з карбиду вольфраму (WC).

Твердість за Брінеллем залежить від навантаження, оскільки зміна глибини втискування не пропорційна зміні площі відбитку.

При втискуванні по краях відбитку через витискування матеріалу утворюється "підвищення", що ускладнює вимір глибини відбитку.

Через великий розмір тіла вдавлювання (кульки) метод непридатний для тонких зразків матеріалу.

Переваги

Знаючи твердість за Брінеллем, можна швидко знайти границю міцності і текучості матеріалу, що важливо для прикладних інженерних задач.

Нормативні документи

International (ISO) and European (CEN) Standard:

- EN ISO 6506-1:2005: Metallic materials - Brinell hardness test - Part 1: test method
- EN ISO 6506-2:2005: Metallic materials - Brinell hardness test - Part 2: verification and calibration of testing machine
- EN ISO 6506-3:2005: Metallic materials - Brinell hardness test - Part 3: calibration of reference blocks
- EN ISO 6506-4:2005: Metallic materials - Brinell hardness test - Part 4: Table of hardness values

US standard (ASTM International):

- ASTM E10-08: Standard method for Brinell hardness of metallic materials.

Випробування на твердість за Роквеллом — це метод оцінки твердості матеріалів, що базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника (вістря, індентора) під заданим навантаженням у досліджуваний матеріал. Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення беруть середнє значення результатів другого і третього вимірювань (рис. 3).

- Метод Роквелла для визначення твердості менш трудомісткий і більш універсальний.
- Твердість визначають вдавленням в поверхню зразка алмазного конуса з кутом 120 ° або сталєвої кульки діаметром 1,58 мм (1/16 дюйма).
- Твердість по Роквеллу є умовною величиною, що характеризує різницю глибин відбитків.
- Твердість позначають числом, що визначає рівень твердості, і буквами HR (Hardness Rockwell) із зазначенням шкали твердості, наприклад: 70 HRA, 58 HRC, 50 HRB.
- Шкала A (HRA) 70...85 одиниць (тверді сплави, вироби з високою поверхневою твердістю); шкала B (HRB) (алюмінієві сплави, бронзи, нетверді сталі; шкала C (HRC) 20 ... 67 одиниць (остаточно термооброблена сталь).

Існує декілька альтернативних шкал, з яких найчастіше використовують шкали В і С. Для позначення твердості, визначеної за методом Роквелла, використовують символ HR, до якого додають букву, що вказує на шкалу, за якою проводили випробування (HRA, HRB тощо).

Для визначення твердості у тонких шарах (плівках) використовують шкали N (алмазний конус), Т (крицева кулька 1,58 мм) і W (крицева кулька 3,16 мм) за шкалою навантажень: 15, 30 і 45 кгс кожна.

Чим твердіший матеріал, тим меншою буде глибина проникнення наконечника в нього. Щоб за більшої твердості матеріалу виходило більше число твердості за Роквеллом, вводять умовну шкалу глибин, беручи за одиницю відліку глибину, рівну 0.002 мм (в окремому випадку 0,001 мм для тонких шарів). За випробування алмазним конусом гранична глибина проникнення становить 0.2 мм, або $0.2 / 0.002 = 100$ поділок, під час випробування кулькою — 0.26 мм, або $0.26 / 0.002 = 130$ поділок. Таким чином, формули для обчислення значення твердості виглядатимуть таким чином:

а) при вимірюванні за шкалою А (HRA), С (HRC) і D (HRD) :

$$HR = 100 - \frac{H - h}{0,002}$$

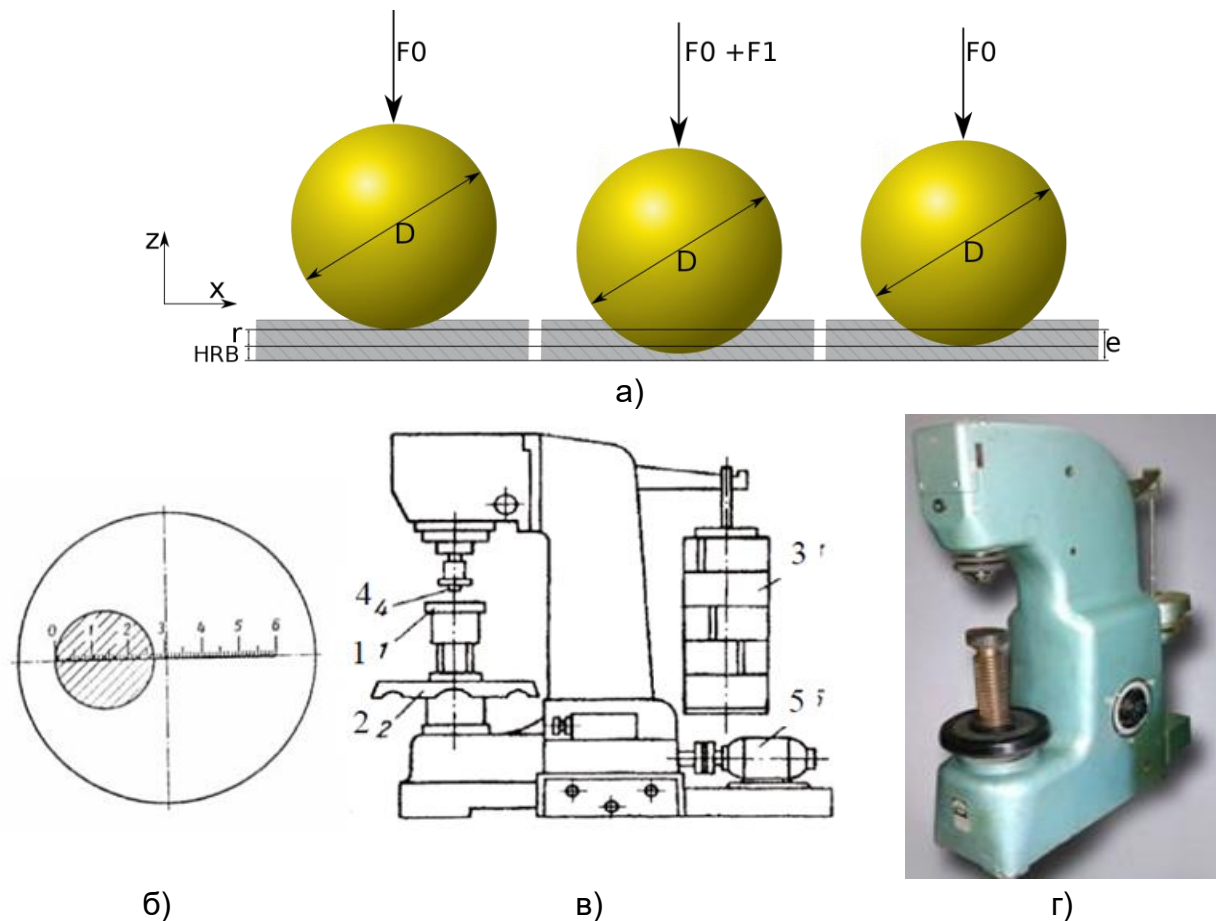


Рис. 3. Схема випробування на твердість за Роквеллом; а) – схеми вдавлювання кульок з різним зусиллям; б) – вимірювання діаметру відбитку; в, г) – схема і зовнішній вигляд пресу ТШ

Різниця $H-h$ представляє різницю глибин занурення наконечника (у мм) після зняття основного навантаження і до його прикладання (за попереднього навантаження).

б) при вимірюванні за шкалою В (HRB), Н (HRH)- К (HRK) :

$$HR = 130 - \frac{H - h}{0,002}$$

в) при вимірюванні за шкалами N, T і W (напр. HR30W, HR45N і т. д.)

$$HR = 100 - \frac{h}{0,001}$$

Міжнародні стандарти

International (ISO):

- ISO 6508-1: Metallic materials — Rockwell hardness test — Part 1: Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
- ISO 2039-2: Plastics — Determination of hardness — Part 2: Rockwell hardness

US standard (ASTM International):

- ASTM E18 : Standard methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials.

Мікротвердомір ПМТ-3 та його застосування

Призначення

Мікротвердомір ПМТ-3 являє собою мікроскоп, призначений для вимірювання мікротвердості металів, скла, абразивів, кераміки, мінералів та інших матеріалів. Застосовується при виконанні лабораторно-практичних робіт з курсу «основи експериментальних досліджень».

Основні дані

Об'єктиви

Найменування	Фокусна відстань	Числова апертура	Збільшення з додатковою азроматичною лінзою F=200 мм	Робоча відстань мм	Роздільна здатність при прямому освітленні, мк
Епіоб'єktiv F=23/2 A=0/17	23,17	0,17	8,6 ^x	6,20	1,73
Епіоб'єktiv F=6,2 A=0,65	6,16	0,65	32,5 ^x	0,87	0,45

Примітка. Епіоб'єктиви розраховані для роботи з тубусом "нескінченність"

Окуляри

Найменування	Збільшення	Фокусна відстань, мм	Лінійне поле зору, мм	Застосування
Окуляр компенсаційний	15 ^x	16,69	11	Для візуального спостереження
Фотоокуляр	15 ^x	17,00	12	Для фотографування

Примітка. Компенсаційний окуляр 15^x знаходиться у приладі МОВ-1-15^x.

Збільшення мікроскопа..... 130 і 487^x

Алмазна піраміда:

кут при вершині.....136°

вістря при вершиніне більше 1 мк

межі навантаження2-200 г

Межі виміру діагоналей відбитків (з об'єктивом F = 6,2)....0,05 - 0,25 мм

Предметний столик:

межі кута повороту..... 0- 180°

межі поздовжнього переміщення 0-10мм

межі поперечного переміщення 0-10 мм

ціна розподілу шкали мікрометричної пода.....0,01 мм

Відносний отвір, що діє колектора освітлювача1:07

Живлення через трансформатор від мережі змінного струму 127/220 в.

Габаритні розміри:

мікротвердоміра в робочому положенні 410x290x200 мм

трансформатора145x110x70 мм

Вага:

мікротвердоміра.....21,6 кг

трансформатора1,72 кг

Принцип дії і оптична схема

Принцип дії приладу заснований на вдавлюванні алмазної піраміди в досліджуваний матеріал під певним навантаженням та вимірювання лінійної величини діагоналі отриманого відбитка. Число твердості (Н) визначається як приватне від розподілу навантаження Р (в кг) на бічну поверхню S (d мм²) відбитка у припущенні, що кути відбитка відповідають кутам піраміди:

$$H = \frac{P}{S}$$

Оптична схема мікроскопа показано на рис. 4.

Освітлювальний пристрій дозволяє розглядати досліджуваний предмет як у світлому полі (праворуч), так і темному полі (ліворуч).

При дослідженні предметів у світлому полі промінь від джерела світла 1 через конденсор 2 світлофільтр 3, колективну лінзу 4 і ірисову діафрагму 5 потрапляє на відбивну пластину 6. Далі промінь проходить в об'єтив 7, потрапляє на досліджуваний предмет 8, відбивається від нього, знову потрапляє в об'єтив 7 і, пройшовши відбивну пластину 6, ахроматичну лінзу 9 і призму 10, утворює зображення предмета у фокальній площині окуляра-мікрометра 11.

Освітленість предмета під час спостереження у світлому полі регулюється зміною діаметра діафрагми 5.

Призма 10 відхиляє промінь на 45°, що створює зручність при роботі на приладі.

Перехід до роботи у темному полі здійснюється поворотом утримувача 12 відбивної пластинки та дзеркала за допомогою рукоятки 13 (рис.5).

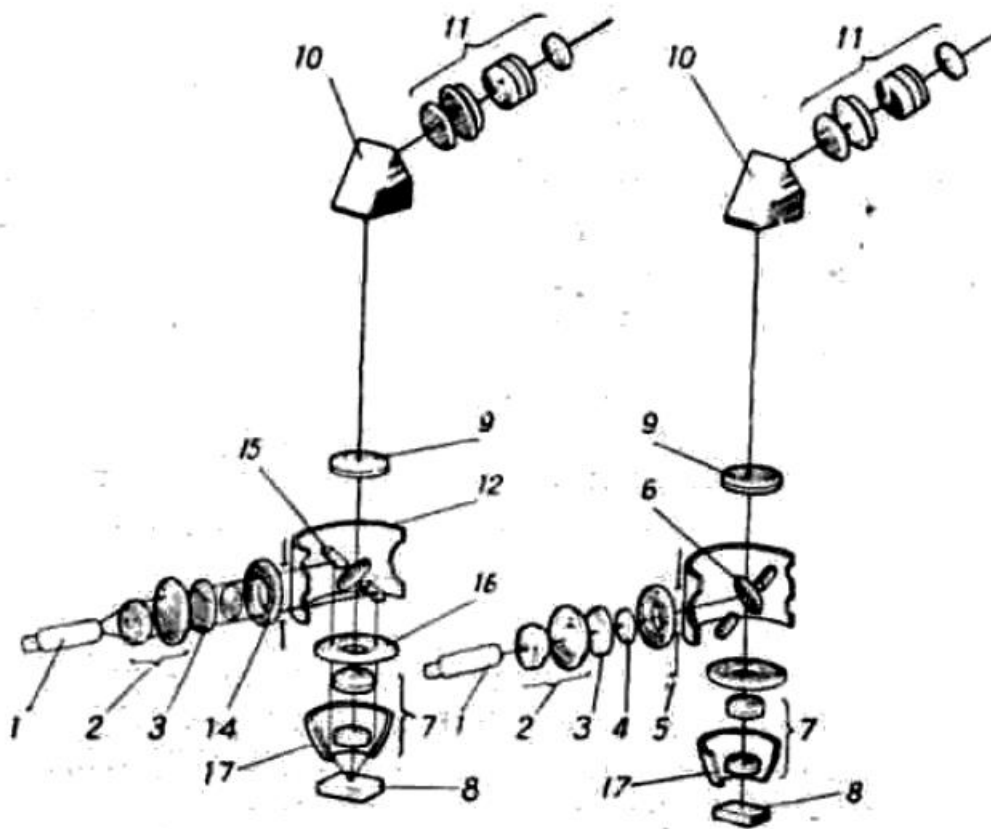


Рис. 4. Оптична схема мікроскопа (позначення в тексті)

При роботі в темному полі промінь проходить світлофільтр 3 (рис. 4, зліва), кільцеву діафрагму 14 і потрапляє на дзеркало відбивне 15. Далі, пройшовши кільцеву

діафрагму 16, промінь відбивається від параболічного дзеркала 17, потрапляє на досліджуваний предмет нього і проходить той самий шлях, що і при спостереженні у світлому полі.

Конструкція

Основними частинами мікротвердоміра є штатив з предметним столиком та головка з механізмом навантаження.

Штатив складається з основи 18 (рис. 5) і колонки 19, що має зовні стрічкове різьблення для переміщення у вертикальному напрямку кронштейна 20 з тубусом за допомогою гайки 21. Кронштейн закріплюється на колонці за допомогою втулки розрізу затискним гвинтом 22 (рис. який при роботі має бути затиснутий).

У кронштейні розміщено механізми грубого та мікрометричного руху тубуса мікроскопа. Крутаючи баранчики 23 (рис. 2 і 3) грубого руху та баранчик 24 (рис. 5) мікрометричного руху, можна переміщати тубус вгору та вниз.

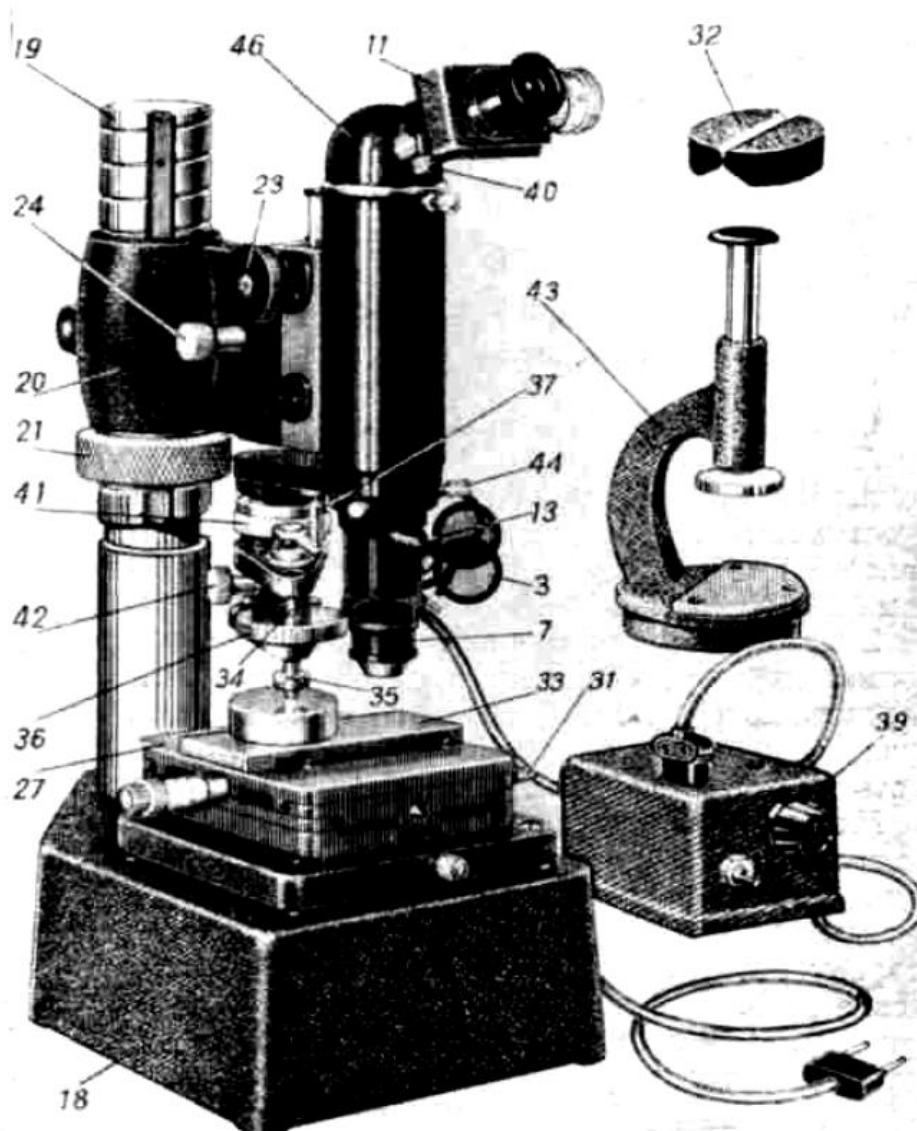


Рис. 5. Комплектація мікротвердоміра

Механізм грубого руху має регулювання ходу. Якщо один баранець грубого руху трохи розвернути щодо іншого, хід руху тубуса буде важчим або легшим, залежно від того, в який бік розгорнуті баранчики. Крім того, грубий рух можна зупинити за

допомогою рукоятки 25 (рис. 6). На баранці 26 є шкала, один розподіл якої відповідає 0,002 мм підйому або опускання тубуса.

Предметний столик 27 (рис. 5) укріплений на підставі штатива трьома гвинтами. Верхня частина столика, на яку встановлюється предмет, може переміщатися у двох взаємно-перпендикулярних напрямках за допомогою гвинтів 28 (рис. 3) та 29. Відпустивши стопорний гвинт 30, можна рукояткою 31 (рис. 2) повертати столик від упору до упору.

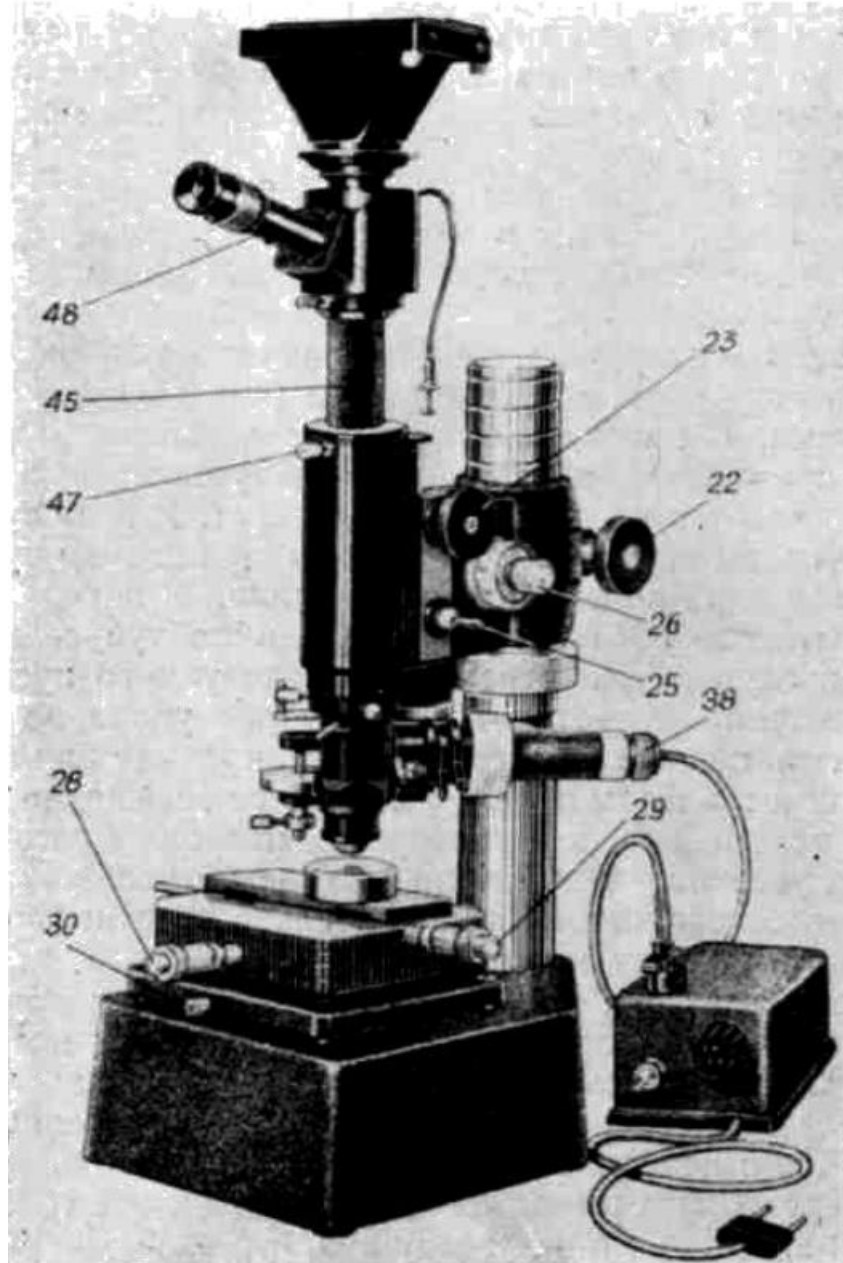


Рис. 6. Основні частини мікротвердоміра

Призма 32 застосовується для дослідження поверхонь циліндричних предметів, на пластинку 33 з допомогою пластиліну можна помістити предмет будь-якої конфігурації.

Механізм навантаження складається зі штока 34, укріпленого на двох пружинах, розташованих усередині корпусу механізму. У нижній кінець штока вставляється оправка 35 з алмазною пірамідою, а на потовщену частину штока кладеться гиря 36 (з

різноваги). Для отримання відбитка шток опускають плавним обертанням рукоятки 37 арретира проти годинникової стрілки.

Освітлювач 38 (рис. 6) укріплений на тубусі мікроскопа та служить для висвітлення досліджуваного предмета. При повороті рукоятки 13 (рис. 5) від упору до упору освітлювач дозволяє розглядати предмет як у світлому, так і темному полі. Рівномірне освітлення досягається переміщенням та розворотом патрона з лампою.

При встановленні освітлювача 38 (рис. 6) необхідно дотримуватися обережності, так як зсув освітлювача викличе роз'юстування приладу.

Світлофільтри 3 (рис. 5) освітлювача призначені підвищення контрастності досліджуваного предмета.

Лампа освітлювача живиться від мережі через трансформатор 39. Трансформатор випускається включеним на 220 ст. Якщо необхідно переключити його на 127, слід пересунути важіль через вікно в денці трансформатора і встановити на цифру «127».

Гвинтовий окуляр-мікрометр 11 закріплюється на трубці насадки гвинтом 40. Окуляр-мікрометр при установці повинен бути розгорнутий так, щоб напрямок руху перехрестя сітки проходило через діагональ відбитка і щоб барабанчик мікрометра знаходився праворуч від дослідника.

Методика роботи

Підготовка до роботи

Перш ніж розпочати роботу на приладі, необхідно перевірити «чутливість» механізму навантаження. Він повинен бути відрегульований по висоті так, щоб при точному фокусуванні мікроскопа на досліджуваний предмет без вантажу алмазна піраміда не залишала відбитка на шліфі м'якого металу (алюмінію) або кам'яної солі; при навантаженні 0,5 г алмазна піраміда повинна залишати відбиток, видимий мікроскопом. - Перевірка "чутливості" механізму навантаження проводиться при збільшенні 487.

«Чутливість» механізму навантаження з часом може порушитись. Відновлення її проводиться обертанням регульовальної гайки 41 (рис. 5). Для цього потрібно попередньо звільнити гвинт 42, що стягує лапки зовнішньої втулки, і після регулювання «чутливості» механізму навантаження знову затягнути його.

Далі слід визначити ціну поділу барабана, гвинтового окуляр-мікрометра (масштаб збільшення). Для цього необхідно:

1. Переміщенням оправ очної лінзи встановити окуляр на різке зображення сітки.

2. На предметний столик помістити об'єкт-мікрометр і переміщенням тубуса (трубою та мікрометричним наведенням) встановити різке зображення об'єкт-мікрометра, який потрібно повернути так, щоб його штрихи були паралельні штрихам нерухомої шкали окуляра.

Поєднати перехрестя рухомої сітки із зображенням штриха об'єкт-мікрометра та зняти відлік з вимірювального барабана окуляр-мікрометра. Поверненням вимірювального барабана змістити перехрестя на можливо більшу кількість поділів шкали об'єкт-мікрометра і знову зняти відлік по вимірювальному барабану. При цьому необхідно враховувати мертвий хід окуляр-мікрометра, тобто перехрестя підводити з

одного боку. Різниця відліків дає кількість поділів окуляр-мікрометра, що вмістилися в певному числі поділів об'єкт-мікрометра.

Ціна поділу барабана окуляр-мікрометра (E) визначається за такою формулою:

$$E = \frac{T \cdot Z}{A},$$

де T – число поділок об'єкт-мікрометра;

Z – ціна поділок об'єкт-мікрометра;

A - різницю відліків окуляр-мікрометра.

Приклад. У тринадцяти поділах об'єкт-мікрометра вклалося 413 поділів барабана (чотири повні обороти і тринадцять поділів барабана). Ціна розподілу об'єкт-мікрометра-0,01 мм. Отже, один розподіл барабана окуляр-мікрометра в площині об'єкта буде відповідати.

$$E = \frac{13 \cdot 0,01}{413} = 0,000315 \text{ мм}$$

Прилад повинен бути відцентрований так, щоб відбиток, отриманий від вдавлювання алмазної піраміди під навантаженням, був розташований приблизно в центрі поля зору.

Центрування проводиться в такий спосіб. Насамперед щоб уникнути поломки алмаз необхідно підняти поворотом рукоятки 37 за годинниковою стрілкою до упору. Шліф із алюмінію або кам'яної солі закріпити на предметному столику під об'єктивом F = 6,2. Столик може бути притиснутий до лівого упору (див. рис. 6).

Досліджувану поверхню шліфу розташувати за допомогою ручного пресирика 43 (рис. 8) паралельно робочій площині столика. Сфокусувати мікроскоп на поверхню шліфу за допомогою грубого та мікрометричного руху. Помістити на потовщену частину штока механізму навантаження гирю 36 вагою 5 г. Рукояткою 31 повернути столик проти годинникової стрілки до упору, після чого він повинен зайняти положення, показане на рис. 2. Повертанням рукоятки 37 проти годинникової стрілки зробити наколювання. Підняти алмаз і повернути столик у колишнє положення (див. рис. 6).

Якщо прилад не розцентрований, центр відбитка повинен збігтися з центром перехрестя сітки окуляр-мікрометра, встановленого в нульове положення, тобто перехрестя рухомої сітки має поєднатись з розподілом «4» нерухомої сітки при установці барабанчика окуляр-мікрометра на «О».

У разі розбіжності відбитка з центром перехрестя прилад треба доцентрувати. Для цього центрувальними гвинтами 44 (мал. 2) підвести центр відбитка з можливою точністю (на око) до центру перехрестя сітки окуляр-мікрометра, встановленого в нульове положення. Переміщаючи столик гвинтами 28 (рис. 3) і 29, вибрати нове місце на шліфі і зробити знову відбиток. Операції наколювання та доцентрування повторювати доти, доки буде досягнуто повного збігу центру відбитка з центром перехрестя окуляра. Якщо відбиток помістився поза увагою мікроскопа, необхідно замінити об'єктив F = 6,2 об'єктивом F = 23,2, зробити попереднє centruвання з гирей вагою 100 г (для отримання великого напруження) і тільки після цього остаточно відцентрувати прилад з об'єктивом F = 6, 2 та вагів 5 г.

Робота на приладі

Визначення мікротвердості слід проводити в наступному порядку:

1. За допомогою ручного пресика 43 (рис. 5) закріпити предмет пластиліном на платівці 33 (рис. 2) так, щоб його досліджувана поверхня розташувалася паралельно до робочої площини столика.

2. Помістити на потовщену частину штока вантаж.

3. При положенні столика показаному на рис. 6, вибрати місце на предметі для друку. При дослідженні металевго предмета відстань від центру відбитка до краю предмета або між центрами сусідніх відбитків має бути не менше двох діагоналей відбитка, а при дослідженні мінералів — не менше п'яти діагоналей, товщина предмета не повинна бути меншою за півтора діагоналі відбитка. При дослідженні окремих структурних складових металевих сплавів діють самі правила. Кордоном предмета є межа досліджуваного зерна.

4. Плавнo повернути предметний столик проти годинникової стрілки, як показано на рис. 2, не допускаючи поштовхів під час підведення до упору. Закріпити столик у цьому положенні гвинтом 30 (рис. 6).

5. Повільним поворотом рукоятки 37 (рис. 5) проти годинникової стрілки опустити шток так, щоб алмаз торкнувся поверхні предмета, що досліджується. Рукоятку повертати приблизно на 180 ° протягом 10-15 сек. Після належної витримки (5 с) під навантаженням повернути рукоятку у вихідне положення.

Віджати гвинт 30 (рис.6) і повернути предметний столик у колишнє положення до упору, як показано на рис.

6. Щоб уникнути удару по упор та усунення предмета із встановленого положення, столик потрібно повертати дуже обережно.

7. Виміряти діагональ відбитка за допомогою окуляр-мікрометра. Гвинтами 28 та 29 підвести відбиток до перехрестя, при цьому обидві сторони перехрестя повинні прилягати до двох сторін відбитка (рис. 6, установка 1). Після того, як відбиток суміщений з перехрестям, потрібно зробити відлік по вимірювальному барабану окуляр-мікрометра. Потім обертати вимірювальний барабан доти, поки перехрестя окуляра не поєднається з протилежними двома сторонами відбитка (рис. 6, установка 2) і знову зробити відлік по окуляр-мікрометру. Різниця відліків, помножена на ціну розподілу вимірювального барабана, дасть дійсну величину діагоналі відбитка.

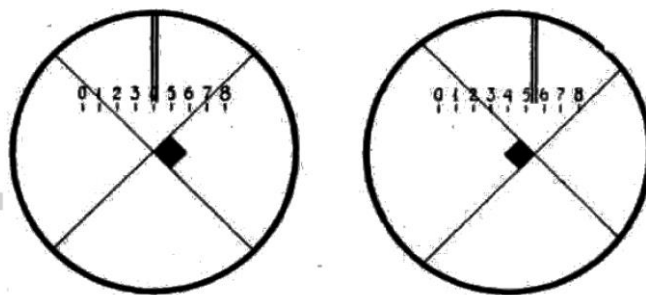


Рис. 7. Дослідження прямокутного відбитку піраміди

Число твердості можна визначити за таблицею (додаток 1) або підрахувати за формулою

$$H = \frac{1854P}{C^2},$$

де H – число твердості в $\text{кг}/\text{мм}^2$;

P – навантаження в г;

C – діагональ відбитку в мк.

Фотографування

Відбитки, отримані від вдавлювання алмазної піраміди, можна сфотографувати. Для цього потрібно використовувати мікрофотонасадки МФН-7 з камерою 6,5х9 та МФН-8 з камерою 9х12, а також МФН-9 та МФН-12 з плівковими камерами (мікрофотонасадки купуються за особливим замовленням). Для фотографування відбитків до приладу додається вертикальний тубус 45 (рис. 6).

Для установки фотонасадки знімають з тубуса мікроскопа окуляр-мікрометр, замість похилої насадки 46 (рис. 5) вставляють тубус 45 (рис. 6) і закріплюють його за допомогою гвинта 47, потім встановлюють фотоокуляр 7, 10 або 15^x (два перші входять в комплект насадки). Далі на кінці насадки закріплюють фотокамеру, і спостереження за поверхнею предмета ведуть через окулярну трубку 48 мікрофотонасадки.

Остаточну установку на різкість для фотографування роблять як завжди, тобто за допомогою гвинта мікроподачі.

3 ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ШТАМПУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ТЕНЗОМЕТРІЇ

Тензометричні методи вимірювання деформацій

Методи і засоби вимірювання деформацій. До теперішнього часу встановилася групова класифікація експериментальних методів, «ГОСТи» по найбільш розвиненим напрямками закріпили термінологію і визначення.

До основних груп методів дослідження (вимірювання) відносять такі: електротензометрію, оптико-геометричні, поляризаційно-оптичні, інтерференційно оптичні, проникаючих випромінювань. До другої великої групи експериментальних методів відносять методи вимірювання деформацій по окремих точках використовують перетворювачі різного типу, основні з яких: механічні, оптико-механічні, оптичні, (лінзові і растрові) потенціометричні, ємнісні, індукційнотрансформаторні, п'єзоелектричні, магнітоупржні (магнітострикційні), фотоелектричні, струнні, пневматичні, електроакустичні, ультразвукові, механотронні, оптоелектронні тощо.

Методи електротензовимірювання. Тензометрія - так називають методи електричних вимірювань механічних величин: деформацій, переміщень, сил, тисків, моментів, перевантажень, частот - володіє винятковими якостями, які призвели до її розвитку як індустріального методу з найширшим застосуванням в машинобудуванні і практично у всіх областях технічної діяльності людини. Відомо використання тензометрії в біології та медицині при вимірюванні сил і деформацій м'язів людини; в ваговимірювальних приладах порталних кранів, в вимірювальних обчислювальних комплексах на борту носіїв і супутників; в пристроях контролю конструкції атомних реакторів; в інформаційно-вимірювальних системах, що обробляють тисячі параметрів за допомогою декількох ЕОМ при випробуванні сучасних літаків тощо.

Основи методу. Тензоефект і тензорезистори (рис.1). Метод заснований на вимірюванні збільшення електричного опору провідника (напівпровідника), що деформується спільно з деталлю, до якої він механічно прикріплений (приклеєний). Опір провідника R пропорційний його довжині l і обернено пропорційний площі поперечного перерізу F :

$$R = \rho \cdot l / F$$

де ρ - питомий опір. При малій деформації провідника його опір змінюється на величину. Це явище називають тензоефектом, а коефіцієнт, що зв'язує відносну зміну опору і деформацію, - коефіцієнтом тензочутливості матеріалу

$$K_{\pi} = \Delta R / (R \varepsilon) = (1 + 2\mu) + m,$$

де m - коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу і деформації:

$$m = \Delta \rho / (\rho \varepsilon) = \nu E$$

(ν - поздовжній коефіцієнт п'єзоопору;

E - модуль пружності дроту, фольги або напівпровідника).

Для металевих тензочутливих матеріалів величина K_{π} визначається в основному зміною геометрії провідника, тобто членом $(1 + 2\mu)$; для напівпровідників, навпаки, тензоефект залежить практично від зміни фізичних властивостей матеріалу і його величина в 20-50 разів більше, ніж для металів.

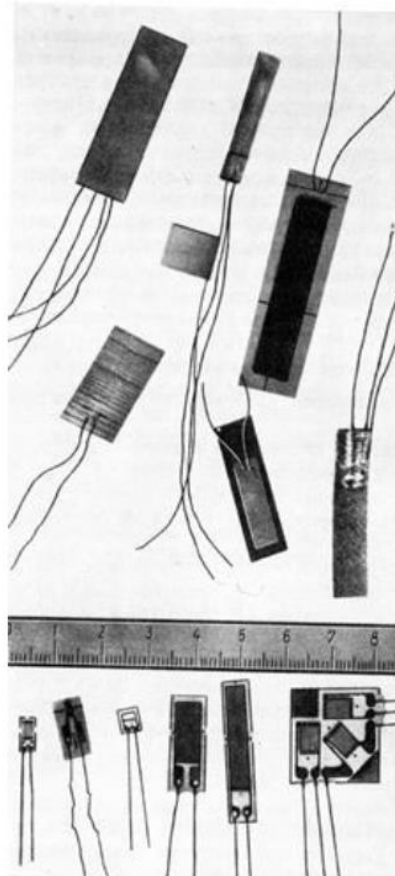


Рис. 1. Деякі види тензорезисторів

Фольгові тензорезистори виготовляють фотохімічним способом з тонкої фольги товщиною 3-10 мкм, що дозволяє автоматизувати процес масового виробництва ТР. Фольгові ТР для вимірювання деформацій в місцях концентрації виготовляють малобазними: $l = 0,5; 1,0; 3,0; 5,0$ мм. Напівпровідникові тензорезистори виготовляють з монокристалів кремнію і германію, рідше з інших напівпровідників. Їх практично не використовують у дослідженнях ПДВ конструкцій, але успішно застосовують в динамометричних пристроях в якості перетворювачів. Завдяки новій технології вирощування напівпровідників на підкладці з кремнію або сапфіру, що є майже ідеальними пружними елементами, створені інтегральні напівпровідникові тензорезистори.

Експериментальна установка для штампування обкатуванням з комплексним регулюванням силових та кінематичних параметрів процесу

Для проведення експериментальних досліджень розподілу контактних напружень при штампуванні обкатуванням тонких заготовок використовувалась спеціалізована експериментально-дослідницька установка.

Експериментально-дослідницька установка для штампування обкатуванням складається з:

- механічної частини установки;
- комплексу вимірювальної і реєструючої апаратури.

Механічна частина установки (див. рис. 2) складається з:

- гідравлічного пресу моделі Д2428 номінальним зусиллям 630 кН (63 тс);

- маслостанції регульованої продуктивності;
- механізму руху обкатування активного інструменту;
- електроприводу механізму руху обкатування.

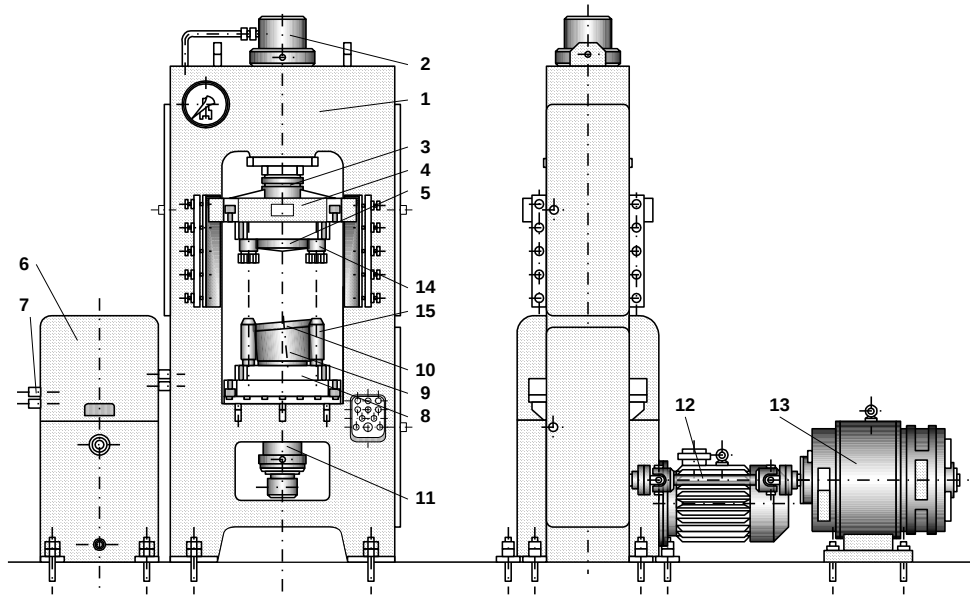


Рис. 2. Зовнішній вигляд експериментально-дослідницької установки для штампування обкочуванням

В якості пристрою, що створює осьове технологічне навантаження, використовується серійний гідропрес 1 (див. рис. 2) моделі Д2428. Прес 1 має верхнє розташування гідравлічного циліндру 2, до штоку 3 якого кріпиться повзун 4 з розміщеним на ньому конічним інструментом 5. Джерелом рідини високого тиску для механізму осьового навантаження використовується гідроагрегат 6 моделі Г4228, що входить в склад гідропресової установки Д2428. Додатково, з метою регулювання швидкості робочого ходу, гідроагрегат 6 має гідравлічний зв'язок 7 з насосом регульованої продуктивності ($0 \dots 0,93 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) з приводним електродвигуном потужністю 5,5 кВт (див. рис. 1). Сполучення використання стандартної маслостанції та аксіально-плунжерного насоса регульованої продуктивності дозволяє прискорені ходи наближення і повернення повзуна виконувати за допомогою маслостанції, а робочий хід від аксіально-плунжерного насоса, що дозволяє плавно регулювати швидкість робочого ходу переміщення траверси в межах $0 \dots 25 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. На столі 8 пресу 1 (див. рис. 1) змонтована вихідна частини механізму обкочувального руху 9 активного інструменту 10. Привід 11 механізму обкатування змонтований на місці розташування виштовхувача пресу та через карданний вал 12 механічно з'єднаний з електродвигуном 13 постійного струму. Електродвигун 13 має систему стабілізації частоти обертів, що дозволяє плавно регулювати та підтримувати вибрану кутову швидкість інструменту 10. Межі регулювання складають $0 \dots 105 \text{ рад/с}$. Потужність приводного електродвигуна 13 механізму обкочувального руху активного інструменту – 16 кВт. Конструктивно механізм обкочувального руху має нижнє розташування активного інструменту 10, це пояснюється необхідністю з'єднання інструменту 10 з вимірювальною і реєструючою апаратурою. При штампуванні обкатуванням технологічне зусилля прикладене ексцентрично відносно центральної осі пресу, з метою усунення негативного впливу такого силового навантаження станини 1 пресу, направляючи повзуна 4, ущільнювачі гідроциліндру 2 та інші деталі конструкції,

максимальне осьове навантаження обмежене 300 кН (30 тс). З тією ж метою в робочому просторі пресу 1 встановлені направляючі втулки 14 з колонками 15, які частково сприймають згинаючий момент від нецентрального прикладення технологічного зусилля. На зусилля 300 кН розраховані деталі механізму обкочувального руху, в тому числі і упорні підшипники цього механізму.

На рис. 3 надано фотографії зовнішнього виду механічної частини експериментально-дослідницької установки для штампування обкочуванням.

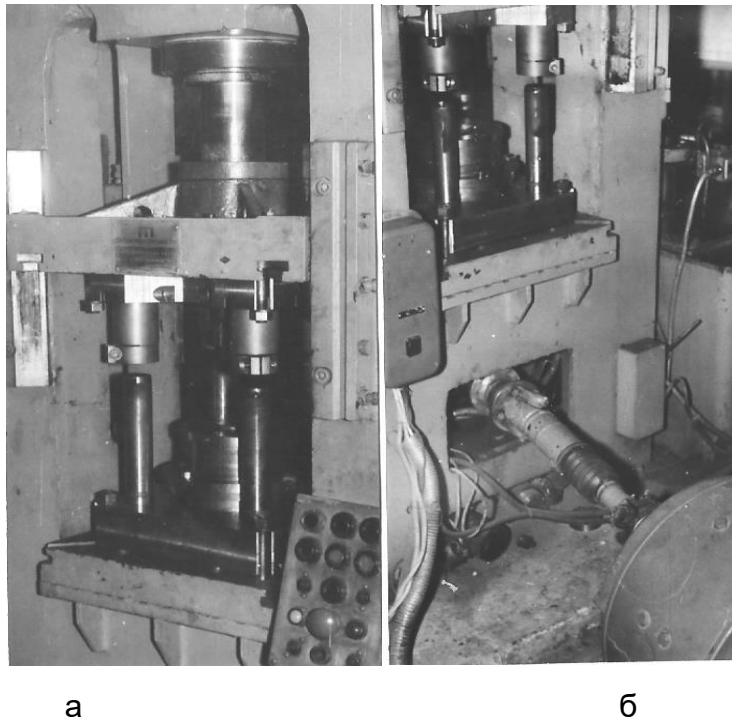


Рис.3. Фотографії механічної частини експериментально-дослідницької установки для штампування обкочуванням (а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду).

Механізм обкочувального руху працює наступним чином. Обертальний рух від електродвигуна 13 через карданний вал 12 (див. рис. 2) передається на вал 1 (див. рис. 4) редуктора та далі через конічну зубчасту передачу 2 з співвідношенням 9/14 на трубчастий вертикальний вал 3. Вали 1 та 3 встановлені в корпусі редуктора на підшипниках кочення. На нижньому торці валу 3 є розточка та різьбовий отвір для кріплення струмознімачів системи виміру моменту обертання. В верхній частині вал 3 має фланець, на якому розміщується і закріплюється за допомогою гвинтів 4 шайба 5 з нахиленим торцем. Розташування шайби 5 змінюється мікрометричними гвинтами, що дозволяє регулювати місце перетину осей валу 3 та внутрішнього отвору шайби 5, тобто центру обкочувального руху активного інструменту. Для проведення комплексного дослідження параметрів процесу на фланцевій частині валу 3 використовується комплект шайб 5 з різним кутом нахилу торця (γ): 0,0359; 0,0436; 0,0524 рад. На шайбі 5 в підшипниках встановлений утримувач інструменту 6, в порожнині 7 якого закріплюється активний інструмент. На повзуні пресу розташований інструмент 8, кут конусності якого відповідає куту нахилу торця шайби 5. Це дозволяє кроками регулювати кут нахилу осі активного інструменту.

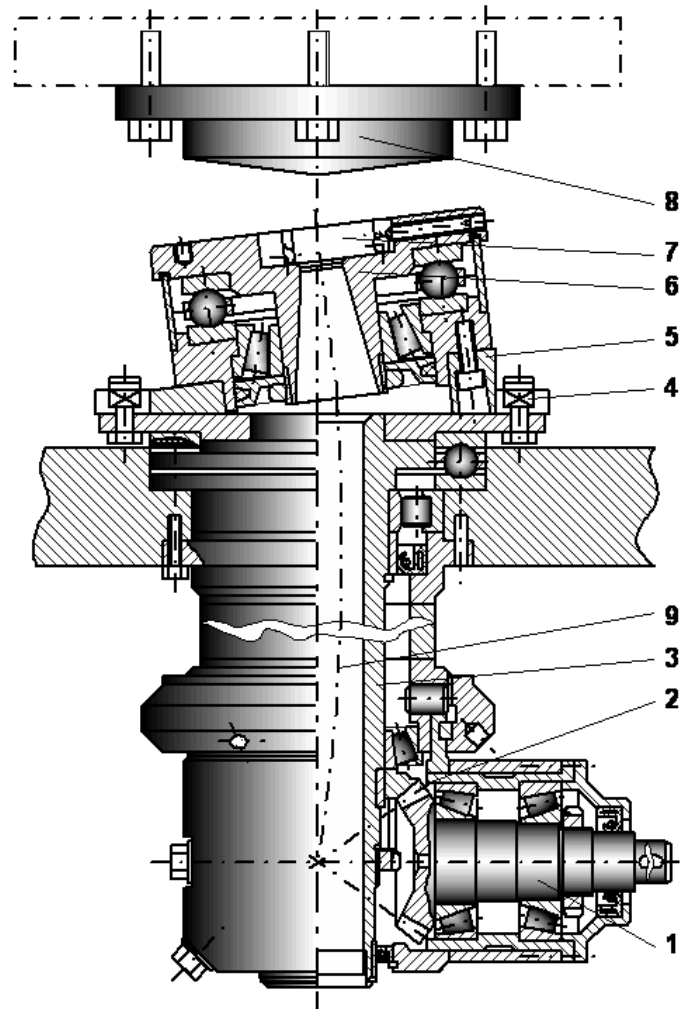


Рис. 4. Конструкція механізму обкочувальних рухів експериментально-дослідницької установки.

Таким чином в конструкції експериментальної установки передбачено регулювання основних параметрів процесу: швидкості вертикального робочого ходу (u), частоти обкатування (n) та кута нахилу осі активного інструменту (γ).

Характеристика механічних параметрів експериментальної установки для штампування обкатуванням надана в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика механічних параметрів дослідно-експериментальної установки для штампування обкатуванням

№№ з/п	Параметр	Одиниця виміру	Величина
1.	Номінальне зусилля	кН (тс)	300 (30)
2.	Найбільший хід повзуна	м	0,3
3.	Швидкість повзуна:		
	- робочого ходу	м/с	0...0,0025

	- ходу наближення	м/с	0,05
	- зворотного ходу	м/с	0,07
4.	Кутова швидкість активного інструменту	рад./с	0...105
5.	Кут нахилу осі активного інструменту		
	- I ступінь	рад.	0,0350
	- II ступінь	рад.	0,0436
	- III ступінь	рад.	0,0524
6.	Найбільший діаметр заготовки	м	0,225
7.	Потужність приводу механізму руху обкочування	кВт	16
8.	Потужність приводу насоса регульованої продуктивності	кВт	5,5
9.	Встановлена потужність	кВт	26,5
10.	Габарити установки		
	- зліва - праворуч	м	1,975
	- спереду - назад	м	1,555
	- висота	м	2,325
11.	Маса	кг	2200

Комплекс вимірювальної і реєструючої апаратури скомпонований у вигляді окремого функціонального блока (див. рис. 5).

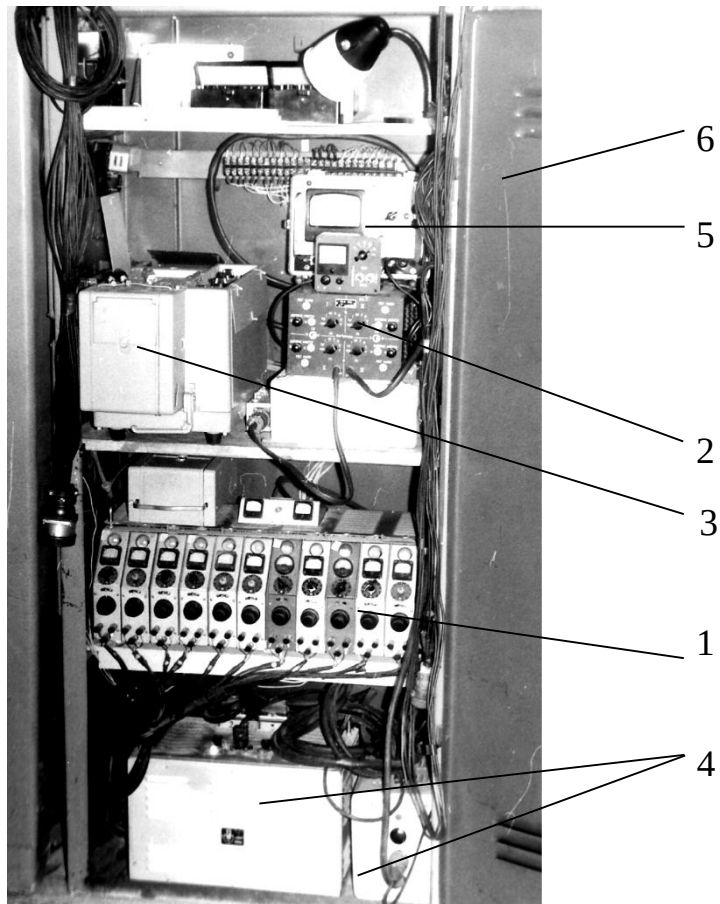


Рис. 5. Комплекс вимірювальної і реєструючої апаратури скомпонований у вигляді окремого функціонального блока.

До складу комплексу вимірювальної і реєструючої апаратури входять:

- універсальна дванадцятиканальна тензостанція 1 (УТС1-ВТ-12);
- універсальна чотириканальна тензостанція 2 (ТА-5);
- шлейфовий світлопроменевий осцилограф 3 (Н-115);
- відповідні блоки живлення 4;
- контрольно-вимірювальні та реєструючі прилади 5 (потенціометри, амперметри, вольтметри та ін.);
- металева шафа 6 з вмонтованими роз'єднувачами для з'єднання контрольно-вимірювальних та реєструючих приладів з відповідними датчиками.

Комплекс вимірювальної і реєструючої апаратури призначений для комплексного дослідження параметрів штампування обкатуванням та реєстрації величин:

- загального технологічного зусилля деформування;
- моменту обкатування;
- питомих зусиль на контактній поверхні;
- кутових переміщень активного інструменту;
- вертикальних переміщень.

У відповідності з реєстрацією перелічених величин установка забезпечена наступними вимірювальними датчиками:

- загального зусилля деформування;

- тиску в робочому гідроциліндрі пресу;
- моменту обкатування;
- двома інструментальними блоками з дванадцятьма та чотирьоканальними датчиками питомих зусиль на контактній поверхні;
- кутового обертання активного інструменту та його осі;
- вертикального переміщення інструменту.

Методика вимірювання технологічних параметрів процесу

Осьове зусилля на повзуні (Р) вимірювалось за допомогою силувимірювальної мембранної мездози, яка встановлена між верхньою плитою механізму руху обкатування та повзуном. Загальний вигляд мездози та її схема з розмірами показані на рис.6. Використання мембранної мездози пояснюється тим, що місце прикладання технологічного навантаження постійно змінюється, викликаючи в пристрої реакції, які діють не тільки осьовому напрямі. Мембранна мездоза в цьому випадку дозволяє визначити величину осьового зусилля. В центральній частині мездози приклеєний фольговий тензорезистор типу 2Ф КМВ на лакові основі (плівка ВЛ-931), який реєструє деформації розтягу цієї зони, які пропорційні осьовому навантаженню. Тарирування силувимірювальної мембранної мездози виконувалась на універсальній випробувальній машині УИМ-40, при цьому була доведена лінійність її показників в межах 0...245 кН.

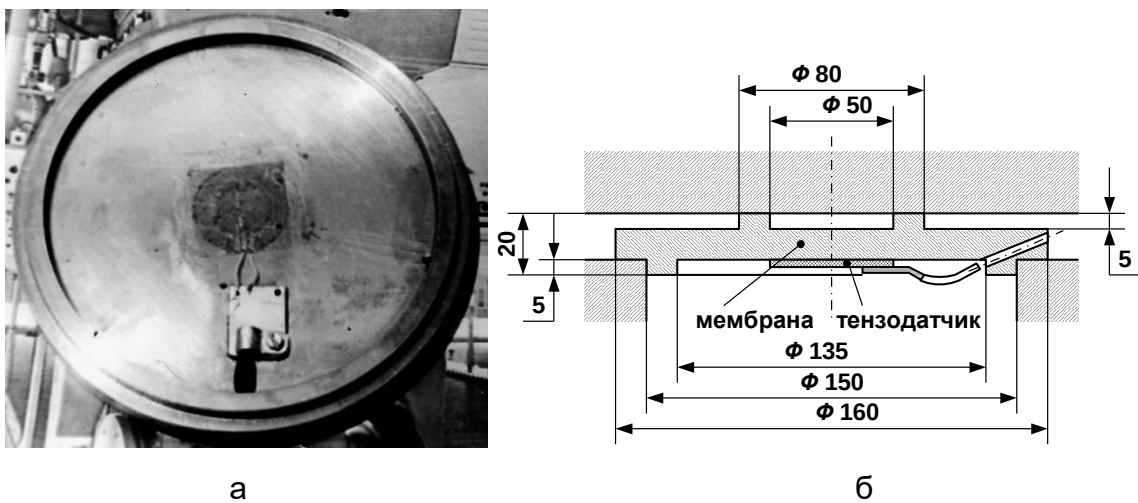
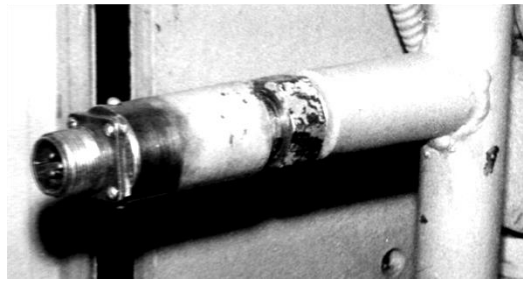
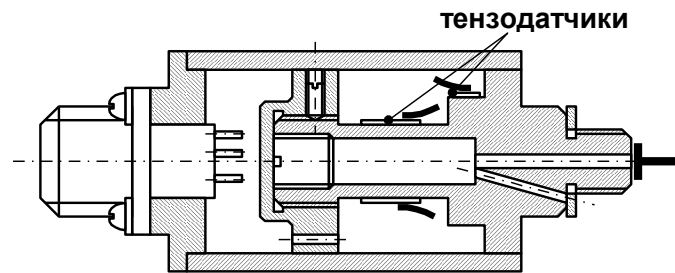


Рис. 6. Загальний вигляд силувимірювальної мембранної мездози (а) та її конструкція (б).

Для підтвердження достовірності результатів показників мембранної мездози при визначення осьового зусилля додатково застосовується датчик тиску, що визначає тиск в робочій порожнині гідроциліндру осьового навантаження (площа поршня 0,0346 м²). Показники датчика тиску також дозволяють визначити витрати на тертя в ущільнювачах гідроциліндру та направляючих повзуна. Конструкція датчика та його загальний вигляд надані на рис.7. Конструктивно датчик виконаний аналогічно типовим тензорезисторним перетворювачам тиску типу ТДД. Тарирування датчика тиску проводилось на спеціальному стенді, що дозволяє кроками підвищувати статичний тиск з відповідним контролем тиску за допомогою зразкового манометру. В межах 0...9,5 МПа датчик показав лінійну характеристику.



а

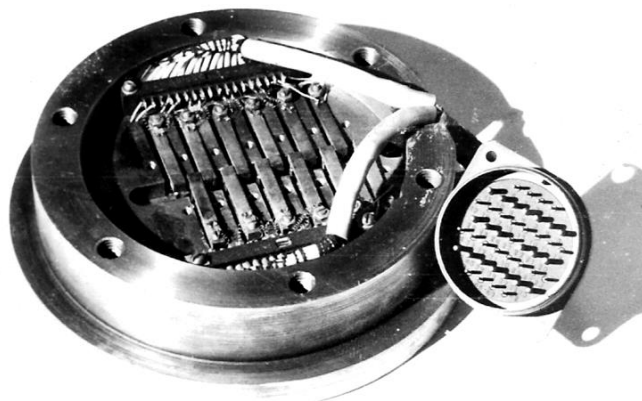


б

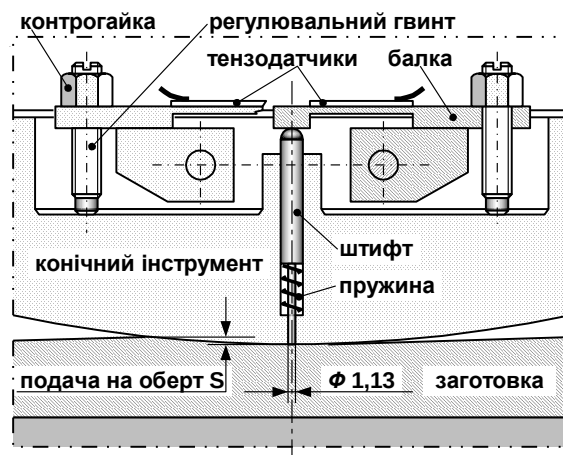
Рис. 7. Загальний вигляд (а) та конструкція (б) датчика тиску

Для проведення експериментальних досліджень питомих зусиль та їх якісний і кількісний розподіл по поверхні контакту між інструментом та заготовкою були використані дві конструкції блоків кінчного інструменту, які передбачають встановлення чотирьох та дванадцяти датчиків питомих зусиль. Що дозволяє отримати достатню кількість точок виміру для побудови контактної контури та визначити з мінімальною похибкою величину та розподіл контактних напружень.

Конструктивно штамповий блок з встановленим у ньому дванадцятьма датчиками питомих зусиль (див. рис. 8) виконаний у вигляді кінчного інструменту, в порожнині якого встановлені вздовж однієї осі дванадцять штифтів з упором на пружини, другою сферичною, стороною штифти опираються на балки, що мають спільну вісь повороту. При цьому балки розташовані в шаховому порядку відносно осі встановлення штифтів. Балки використовуються в якості пружних елементів і на них наклеєні дратові тензодатчики марки ПБК-20-150. Штифти зворотнім кінцем (діаметр вихідного кінчика штифта 1,13 мм, що відповідає площі 1 мм²) виходять на робочу поверхню кінчного інструменту, шаг встановлення 10 мм. Подовжня вісь одного з штифтів співпадає з вертикальною віссю пристрою, дев'ять штифтів розташовані з однієї сторони, два по іншу відносно центрального. Таке розташування дозволяє реєструвати контактні напруження на ділянці, що знаходиться з протилежного боку від контактної осередку відносно центра. Налаштування штифтів виконувалась за допомогою регулювальних гвинтів та контротягів. Датчики можуть монтуватись в одному з корпусів кінчного інструменту з кутом конусності, що відповідає куту нахилу торця ($\gamma=0,0359; 0,0436; 0,0524$ рад.). При цьому компенсаційні датчики, що входять в склад вимірювальних мостів, наклеєні на сталюу пластину. Інструментальний блок встановлюється на плиті, яка закріплена до повзуна пресу.



а



б

Рис. 8. Загальний вигляд (а) та конструкція (б) дванадцятиканального конічного інструменту.

Оскільки спільна кількість каналів, що реєструються, обмежена числом шлейфів в світлопроменевому осцилографі Н-115, який використовується в комплексі вимірювальної апаратури, то для одночасної реєстрації усіх параметрів процесу застосовується система перемикання каналів тензостанції УТС 1-ВТ-12, яка використовується для обробки сигналів від датчиків питомих зусиль. Базовим елементом системи перемикання каналів є тригер, який керує перемикачем, змонтованим спільно з блоком датчиків реєстрації кута повороту активного інструменту та його осі. На підставі чого за час парної кількості обертів реєструються і передаються на вхід осцилографа шість показників від дванадцятиканального інструментального блоку, а за час непарної кількості обертів – з шести інших датчиків. Схема електричних з'єднань датчиків, підсилюючої та реєструючої апаратури, що використані в комплексі, надана на рис. 9. Вірогідність отриманих результатів базується на тому, що ступінь деформації за один цикл обкатування незначна (не більше 3...5%), що дає можливість порівнювати результати вимірювання на двох сусідніх циклах. На рис. 8 мають місце наступні позначення: 1 – прес мод. Д2428; 2 – маслостанція регульованої продуктивності; 3 – механізм руху обкатування; 4 – привідний двигун постійного струму; 5 – карданний вал; 6 – редуктор; 7 – тензостанція УТС 1-ВТ-12; 8 – тензостанція ТА-5; 9 – шлейфовий осцилограф Н-115; 10 – блок датчиків питомих зусиль; 11 – датчик моменту обкатування; 12 – тригер; 13 – датчик

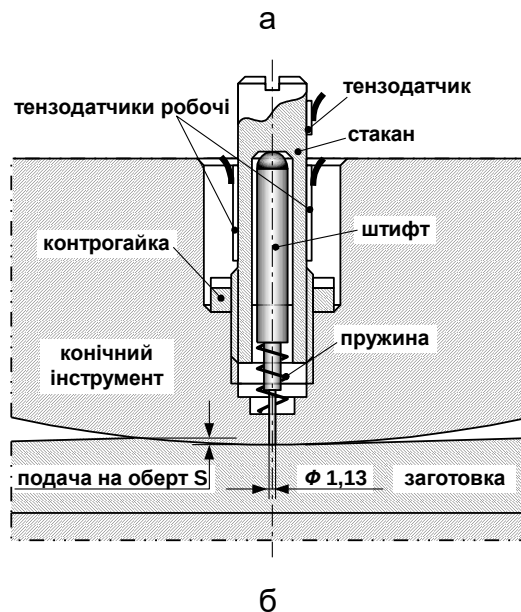


Рис. 10. Загальний вигляд (а) та конструкція (б) чотириканального конічного інструменту.

Датчики обох інструментальних блоків тарирувались за допомогою пристроїв, що забезпечують суворе осьове прикладання контрольного зусилля вздовж осі штифта. Тарирувальні залежності мають лінійне відхилення променя осцилографа в залежності від прикладеного зусилля.

За такої конструкції та лінійних розмірах жорсткість конструкції достатня і похибка виміру питомих зусиль не перевищує 5%.

З метою просторово-часового узгодження параметрів реєстрації (осьового зусилля, моменту деформування, питомих зусиль та ін.) в комплексі апаратури застосовані датчики визначення кінематичних параметрів процесу:

- датчик кутового переміщення активного інструменту;
- датчик вертикальних переміщень.

Показники датчиків і відміток, що реєструються осцилографом, дозволяють визначити наступні величини.

1. Кутову швидкість обертання відносно заготовки (ω). Якщо вважати $\omega = \text{const}$ за оберт приводного валу, то маємо

$$\omega = \frac{2\pi}{t_o} - \frac{\beta_z}{t_n}, \quad (1)$$

- де: t_o - час одного оберту приводного валу;
 β_z - кут між осями симетрії зубців, якщо n – кількість зубців, то
 $\beta_z = 2\pi/n = 0,1745$ рад;
 t_n - час обертання розмикача на один зубець.

2. Час одного оберту конічного інструменту по заготовці ($t_{ц}$)

$$t_{ц} = \frac{1}{\omega}. \quad (2)$$

За часом $t_{ц}$ визначають шаг кадру осцилограми. У випадку загальмованого активного інструменту $t_{ц}=t_o$, а кутова швидкість обкатування (ω) дорівнюється кутовій швидкості осі активного інструмента (ω_o).

3. Подачу на оберт (S) визначається за графіком величини вертикальних переміщень за один оберт, чи, в даному випадку, за шаг кадру.

4. Швидкість осьового наближення (v), з врахуванням незмінності за цикл обкатування, визначаємо

$$v = \frac{S}{t_{ц}}.$$

При незначних значеннях подач для підвищення точності обробки осьову подачу визначають за декілька відповідних циклів обкатування.

5. Величину відношення площі контакту (F_k) до повної торцевої поверхні заготовки (F) розраховували за залежністю [3]

$$\lambda = 0,45 \sqrt{\frac{S}{2\pi R * \operatorname{tg} \gamma}}, \quad (3)$$

- де: R - поточне значення радіусу заготовки;
 γ - кут нахилу осі активного інструменту.

6. Осьове зусилля деформування (P) визначається за відхиленням променю осцилографу під дією сигналу неузгодження від мембранної силовимірювальної мездози з врахуванням тарировального графіка. За рахунок дії сил тертя в направляючих пресу і колонках установки зусилля, яке реєструється, буде складатися із технологічного і сили тертя. В [1] доведено, що похибка вимірювання за такого вирахування осьового зусилля при найбільш несприятливих випадках не перевищує 5%.

7. Осьове зусилля пресу ($P_{пр}$) визначається виразом

$$P_{пр} = p_{ц} * F_{п}, \quad (4)$$

- де: $p_{ц}$ - тиск в гідроцилінрі, що реєструється за допомогою датчику тиску;
 $F_{п}$ - площа робочої поверхні поршня гідроциліндру, $F_{п}=0,0346$ м².

8. Середнє питоме зусилля на контактній поверхні визначається

$$P_{ср} = \frac{P}{\lambda * \pi * R^2}, \quad (5)$$

- де: R - поточний радіус заготовки;

- λ - коефіцієнт співвідношення площ;
 P - зусилля деформування.

9. За показниками, що наведені вище, можна вирахувати такі параметри процесу штампування обкатуванням як момент деформування ($M_{кр}$), робота осьового навантаження (A_p), робота обкатування (A_m) та відповідні потужності (N_p , N_m)

$$M_{кр} = M_{ос} - M_{хх} - M_{тр}, \quad (6)$$

$$A_p = P * S, \quad (7)$$

$$A_m = M_{кр} * \omega, \quad (8)$$

$$N_p = P * v, \quad (9)$$

$$N_m = M_{кр} * 2\pi. \quad (10)$$

де: $M_{кр}$ - значення кружного моменту, яке реєструється осцилографом;
 $M_{хх}$ - показники датчику моменту на холостому ході;
 $M_{тр}$ - момент тертя в підшипниках редуктора та трансмісії.
 Всі позначення прийняті раніше.

Таким чином за допомогою стенду з контрольно-вимірювальною апаратурою та реєструючими приладами можливо виконати визначення основних технологічних параметрів процесу.

При визначенні значень коефіцієнта тертя (μ) застосовувалась методика визначення цього параметру як при осаджуванні та висаджуванні високих заготовок (див. розділ 2.2).

Наведена методика узгоджується з експериментальними даними [6]. Але визначення коефіцієнту тертя за (1) не враховує ряд факторів, частково – матеріал заготовки та матеріал інструменту. Тому були використані експериментальні значення коефіцієнту тертя при холодному прокатуванні свинцю [7]. В експериментальних дослідженнях використовувались свинцеві заготовки та інструмент з чистотою поверхні, що відповідає $R_a 0,08$. При обробці інструментом з такою шорсткістю свинцевих заготовок експериментальний коефіцієнт тертя (μ) приймає значення 0,12, що відповідає середнім коефіцієнтам при холодному об'ємному штампуванні сталей виробів. Матеріал інструменту Сталь 40Х ГОСТ 4543-94 з твердістю HB 690 та Ст. 5 ГОСТ 380-90 з твердістю HB 150.

Оскільки під час штампування обкатуванням деформований матеріал зазнає періодично повторюване навантаження, то за кожного циклу навантаження змінюються його механічні характеристики. Тому межу пластичності матеріалу (σ_s) при експериментальному дослідженні визначали в залежності від твердості поверхні зразка та досягнутої ступіні деформації за методикою [8, 9], що заснована на визначенні межі пластичності за схемою навантаження, близького до одноосного стискання.

За одиничного вимірювання похибка параметру, що фіксується, визначається сумою похибок елементів системи вимірювання (δ_o) [10, 11]. Таким чином в якості оцінки точності вимірювальної системи вважається похибка, яка вираховується по відомим граничним похибкам окремих датчиків і приладів, що складають систему

фіксації визначеного параметру. Результати вирахування похибок окремих етапів вимірювання наведені в табл. 1.

Вирахуванням таким чином відносним граничним похибкам вимірювання параметрів процесу штампування обкатуванням за нормального закону розподілу помилок відповідає довірена вірогідність – 0,954 [11].

Методика експериментальних досліджень розподілу контактних напружень при осаджуванні тонкої заготовки

Осаджування тонкої циліндричної заготовки виконувалось на пристрої за схемою по рис. 4.

Досліди проводились на свинцевих термооброблених зразках з вихідними розмірами $d_o=100$ мм; $h_o=40$ мм. Зразки виточувались із попередньо прокованих та відпресованих прутків, які згодом відпалювалися в киплячій воді. Осаджування проводилось до кінцевих розмірів $d_k=200$ мм; $h_k=10$ мм (див. рис.11). При цьому заміри параметрів процесу проводились для різних відношень $2R/h_u$, висотна ступінь деформації відповідає: при $2R/h_u=10$ $\varepsilon_z=60\%$; при $2R/h_u=15$ $\varepsilon_z=70\%$; при $2R/h_u=20$ $\varepsilon_z=75\%$. За такого діапазону висотного деформування межа текучості матеріалу практично не змінюється і складає $\sigma_s=15,7$ МПа. Найбільш повна інформація одержана при максимальних значення розмірів зразків, коли були задіяні всі точкові мездози.

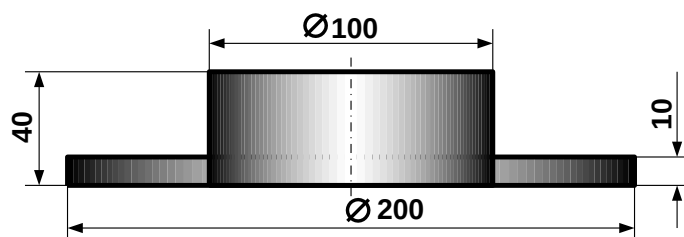


Рис. 11. Початкові і кінцеві розміри при досліджуванні питомих зусиль при осаджуванні обкочуванням тонкої заготовки

На рис.12 надані типові осцилограми реєстрації параметрів осаджування обкатуванням циліндричної заготовки.

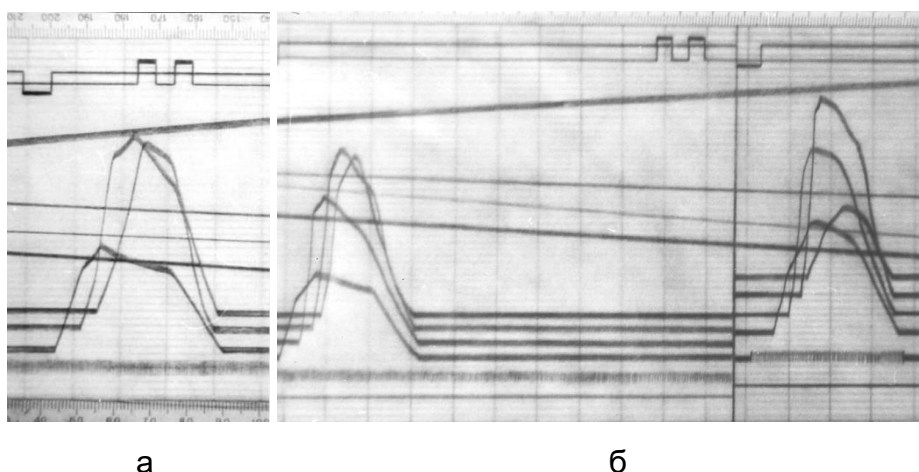


Рис. 12. Зовнішній вигляд типових осцилограм реєстрації питомих зусиль при 4-х точковому вимірюванні (а) та при 12-ти точковому вимірюванні (б).

Результати експериментального визначення контактних напружень при осаджуванні тонкої циліндричної заготовок з врахуванням пружних деформацій інструменту

Як зазначалось вище величину відношення площі контакту (F_k) до повної торцевої поверхні заготовки (F) розраховували за залежністю (3.5), яка не враховує пружних деформацій активного інструменту. Для врахування пружних деформацій застосовувалась методика, яка апробована для визначення проекції дуги захвату при пружних деформаціях валка при холодному прокатуванні.

Вибрані результати обробки осцилограм наведені в табл. 2, де окрім експериментальних відношень p'_{CPE}/σ_s надані перераховані з врахуванням пружних деформацій значення p'_{CPE}/σ_s і відповідні вираховані аналітично значення p_{CPP}/σ_s .

Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень показує, що їх максимальна різниця не перевершує 10% для енергосилових параметрів.

За результатами експериментального аналізу розподілу контактних напружень, який виконаний за допомогою 4-х та 12-ти точкових блоків кінцевого інструменту для вимірювання питомих зусиль (типові осцилограми реєстрації показників датчиків питомих зусиль надано на рис. 11) побудовані відповідні епюри, які показані на рис. 13. В залежності від параметрів протікання процесу максимальні значення питомих зусиль досягають на відстані $(0,7 \dots 0,8)R$ від центру деталі. При цьому максимальний вплив чинить параметр S , який прямим чином визначає коефіцієнт λ (співвідношення площі контакту до площі торця). Максимальні значення питомих зусиль знаходяться в межах $(2,5 \dots 3,7)\sigma_s$, також в залежності від тих же параметрів процесу. Контактні напруження зростають при збільшенні коефіцієнту тертя (μ), відносної контактної площі (λ), співвідношення $(2R/h_u)$. Центральні датчики питомих зусиль за сталого процесу не реєструють питомих зусиль на поверхні контакту. Зареєстрований розподіл контактних напружень має виражену згладжену центральну ділянку, що вказує на наявність зони з зменшеними поверхневими переміщеннями або ділянки приставання.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові значення p_{cp}/σ_s

S	γ	B	R_a	μ	$2R/h$	λ	p'_{CPE}/σ_s	p_{CPE}/σ_s	p_{CPP}/σ_s (5.26)
мм/об	рад.	мм	мкм	-	-	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,2	0,035	0,91	0,08	0,1	9,91	0,080	1,25	1,375	1,38
					15,12	0,077	1,34	1,474	1,49*
					19,23	0,076	1,46	1,606	1,71*
0,3	0,035	1,36	0,08	0,1	10,23	0,104	1,31	1,441	1,46
					14,18	0,098	1,37	1,507	1,52*
					19,85	0,093	1,53	1,683	1,70*
	0,044	1,09	0,08	0,1	10,14	0,093	1,31	1,441	1,45
					14,88	0,088	1,41	1,551	1,61*

					18,97	0,083	1,49	1,639	1,62
	0,052	0,92	0,08	0,1	9,83	0,086	1,29	1,419	1,41
					15,22	0,081	1,33	1,463	1,48
					19,54	0,077	1,48	1,628	1,68
0,5	0,035	2,27	0,08	0,1	9,64	0,135	1,33	1,463	1,48
					14,78	0,127	1,39	1,529	1,58
					19,35	0,121	1,57	1,727	1,75
	0,044	1,81	0,08	0,1	10,14	0,120	1,32	1,452	1,46
					15,19	0,113	1,39	1,529	1,57
					19,65	0,108	1,55	1,705	1,72
	0,052	1,53	0,08	0,1	9,78	0,111	1,31	1,441	1,46
					15,18	0,104	1,35	1,485	1,51
					19,45	0,099	1,69	1,859	1,84
S	γ	B	R _a	μ	2R/h	λ	p'CPE/σ _S	pCPE/σ _S	pCPP/σ _S
мм/об	рад.	мм	мкм	-	-	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,6	0,035	2,73	0,08	0,1	9,65	0,148	1,37	1,507	1,51*
					14,51	0,139	1,47	1,617	1,62
					19,33	0,132	1,62	1,782	1,81
	0,044	2,17	0,08	0,1	10,23	0,132	1,33	1,463	1,49
					15,18	0,124	1,40	1,540	1,55
					19,22	0,118	1,57	1,672	1,69
0,8	0,044	2,9	0,08	0,1	9,63	0,152	1,37	1,507	1,52*
					14,88	0,143	1,47	1,617	1,63*
					19,45	0,136	1,61	1,771	1,79
	0,052	1,153	0,08	0,1	9,57	0,140	1,27	1,397	1,41
					14,75	0,132	1,41	1,551	1,57
					19,79	0,125	1,57	1,727	1,71
0,9	0,052	2,76	0,08	0,1	9,66	0,148	1,38	1,518	1,61*
					15,03	0,140	1,44	1,584	1,58
					19,97	0,133	1,60	1,760	1,79

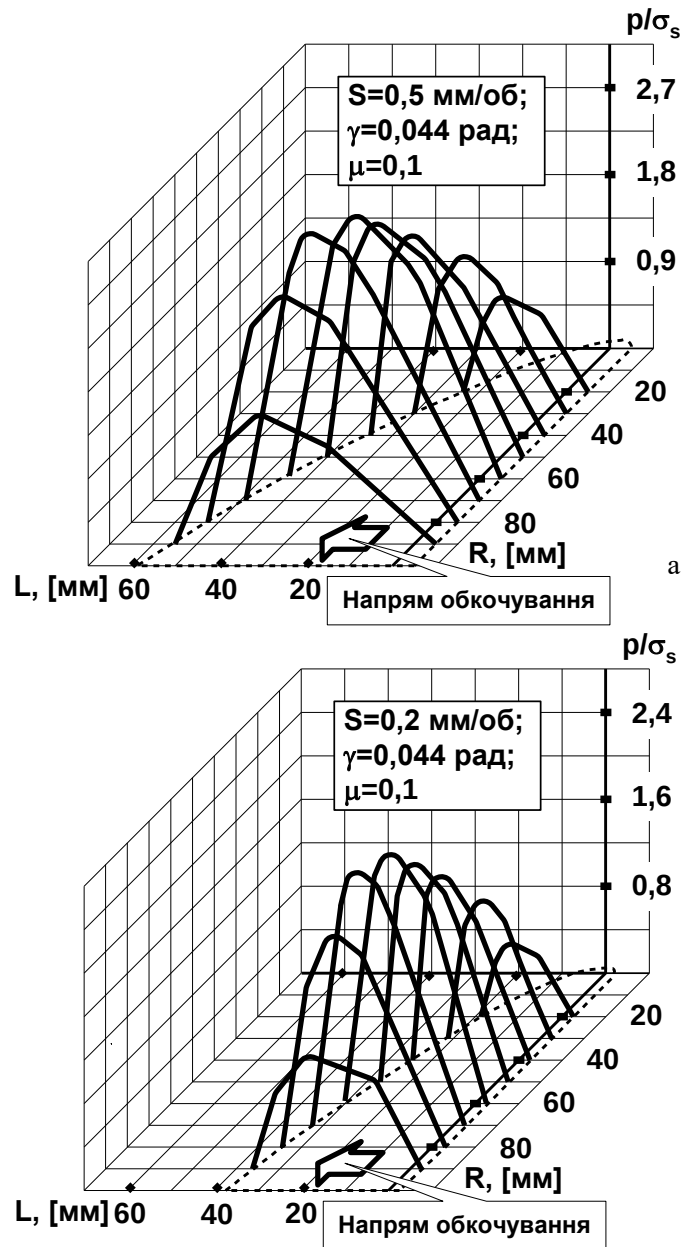


Рис.13. Експериментальні епюри розподілу контактних напружень (а – при подачі $S=0,5$ мм/об; б – при $S=0,2$ мм/об; L – спрямлена бічна поверхня).

Епюру розподілу контактних напружень можна побудувати виходячи з типових теоретичних допущень при аналізі процесу, а саме виходячи з того, що максимальних значень питомі зусилля досягають в місцях розділу течії металу, максимальне значення напружень буде розташоване в місці перетину поверхонь розділу, яке відповідає точці O_1 (див. рис. 13). Розташування точки O_1 знаходиться в межах $\rho_o = (0,7 \dots 0,8)R$ від центру в залежності від коефіцієнту λ . Вказаний інтервал (ρ_o) розташування точки O_1 в залежності від коефіцієнту λ можна замінити (похибка $\geq 3\%$) апроксимованою функцією

$$\rho_o = (1 - 2\lambda)R.$$

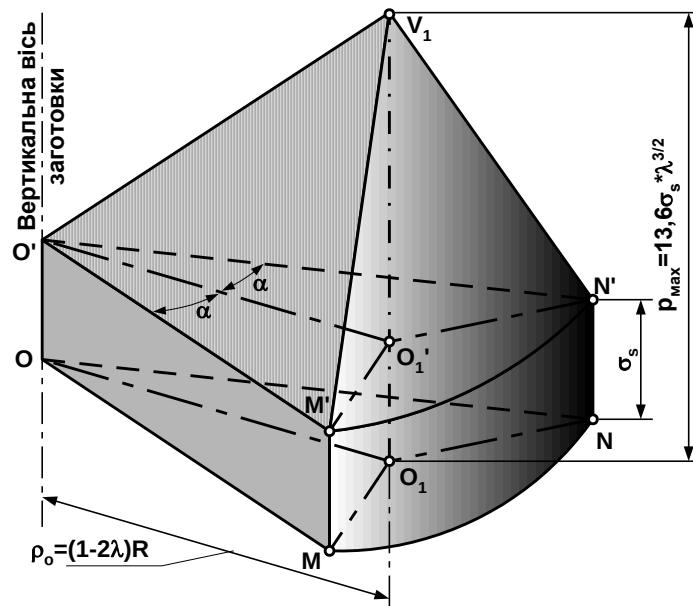


Рис. 14. Теоретична еюра розподілу контактних напружень

Якщо запропонувати лінійний розподіл зростання контактних напружень від значення σ_s на границі контуру до максимуму $p_{\max}$ в точці O_1 можна побудувати теоретичну еюру розподілу питомих зусиль. Максимальне значення $p_{\max}$ визначаємо із умови рівності об'ємів фігур при рівномірному розподілі середніх питомих зусиль (p_{CP}) та фігури на рис. 14. З рівності

$$p_{CP} * \lambda * \pi * R^2 = \lambda * \pi * R^2 \left[\frac{1}{3} (p_{\max} - \sigma_s) + \sigma_s \right],$$

отримаємо, що при $p_{CP} = (1,3 \dots 1,9) \sigma_s$ інтервал максимальних питомих зусиль становить $p_{\max} = (2,5 \dots 3,7) \sigma_s$, або використовуючи апроксимовану функцію можна вираховувати останній показник (похибка $\leq 3\%$) як

$$p'_{\max} = 14,9 \sigma_s * \lambda^{2/3}.$$

З розподілу питомих зусиль на контактній поверхні на осцилограмах на рис. 13 та на відповідних еюрах рис. 14 видно, що максимальних значень питомі зусилля набувають не в точці O_1 (передумова, яка була використана раніше), а в точці O_2 , що розташована на радіусі, який проходить під кутом $\approx 0,8\alpha$, причому ця залежність відповідає всьому діапазону проведених експериментів. Такий зсув точки O_1 в точку O_2 та наявність ще двох перегинів пояснюється наявністю більш складного механізму пластичних течій в зоні контакту. А саме наявністю зони приставання, яка має місце при прокатуванні, якій відповідає область максимальних напружень на еюрі, а також зон тертя або ковзання, проекція одного боку границі між ними співпадає з лівим згином кривої розподілу питомих зусиль, а другого з правим згином цієї кривої (див. рис. 15).

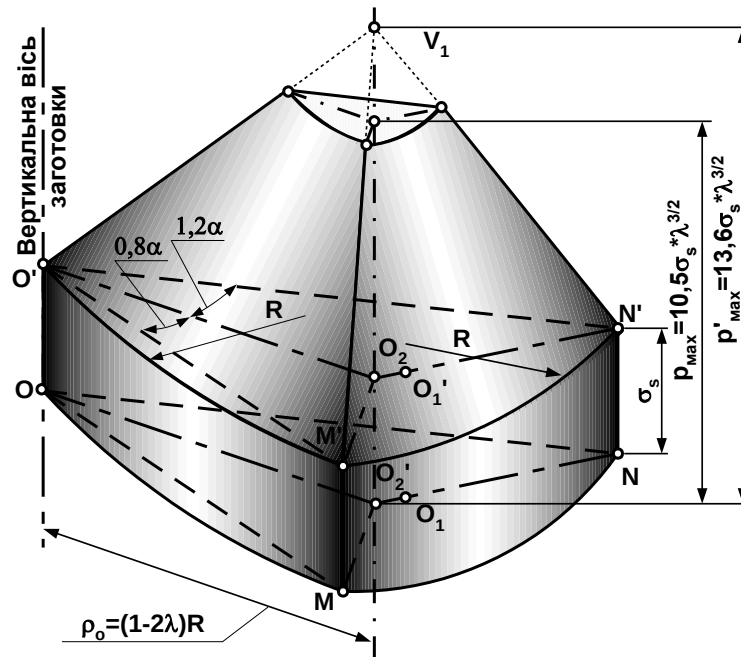


Рис. 15. Корекція теоретичної епюри розподілу контактних напружень у відповідності до експериментального розподілу та наявності зони приставання

Виходячи з умови рівності об'ємів фігур епюр контактних напружень можна побудувати теоретичну епюру з врахування зони приставання і отримати вираз для знаходження максимальних контактних напружень, який відповідає експериментальним даним

$$p_{\text{MAX}} = 13,25\sigma_s * \lambda^{2/3}.$$

Таблиця 3

Відносні граничні похибки вимірювання досліджуваних параметрів

№№ з/п	Параметр	Відносна гранична похибка, %
1.	Зусилля деформування	7,25
2.	Тиск в порожнині гідроциліндру осьового навантаження	4,9
3.	Питомі зусилля на контактній поверхні	
	- чотиріканальне вимірювання	6,68
	- дванадцяти канального вимірювання	7,9
4.	Момент деформування	8,27
5.	Кут повороту осі активного інструменту	3,1
6.	Кут повороту активного інструменту	4,8
7.	Вертикальне переміщення інструменту	4,72

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ МІКРОСКОПІ DMI VICTORY (INVERTED METALLURGICAL MICROSCOPE) ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

Інвертований мікроскоп, розроблений для вирішення промислових і дослідницьких завдань.

Правила техніки безпеки при експлуатації мікроскопа

1. Мікроскоп – це точний інструмент, акуратно працюйте, уникайте ударів та вібрацій.
2. Навколишнє середовище не повинно бути під впливом прямих сонячних променів, високої температури або високої вологості та пилу, уникайте сильних вібрацій.
3. Натяг для ручки грубого фокусування може регулюватися.
4. Залиште достатньо місця (10 см) для вентиляції.
5. При транспортуванні необхідно дотримуватися таких правил:
 - * По-перше, прибрати зразки, фільтри та інші деталі з предметного столика, щоб уникнути пошкоджень.
 - * Будьте обережні, у разі нахилу мікроскопа можливе випадання гумової прокладки.

Таблиця 1

Знаки безпеки

Знак	Значення
	Поверхня буде гарячою, не чіпайте це.
	Спочатку уважно прочитайте інструкцію. Неправильне використання може призвести до травм або пошкодження інструменту.
	Цей знак знаходиться поруч із гніздом запобіжника, означає остерігайтеся електричного витоку.
	Головний вимикач "ВКЛ"
	Головний вимикач "ВИМК"

Обслуговування і зберігання

1. Використовуйте марлю з 70% етиловим ефіром та 30% спиртовим розчином, щоб акуратно протирати лінзу. Спирт та ефір – вибухонебезпечний матеріал, будь ласка, тримайте їх подалі від вогню. Будьте обережні, включаючи та вимикаючи живлення. Будь ласка, провітрюйте приміщення.
2. Використовуйте м'яку тканину для чищення інших деталей за допомогою нейтрального миючого засобу, крім скляних деталей.
3. Якщо мікроскоп не використовується, надягніть чохол.
4. Зберігайте пакувальний матеріал для подальшого транспортування.

Найменування деталей

На рис.1 та рис.2 відображаються лише основні деталі, будь ласка, для отримання більш детальної інформації див. каталог продукції Dewinter.

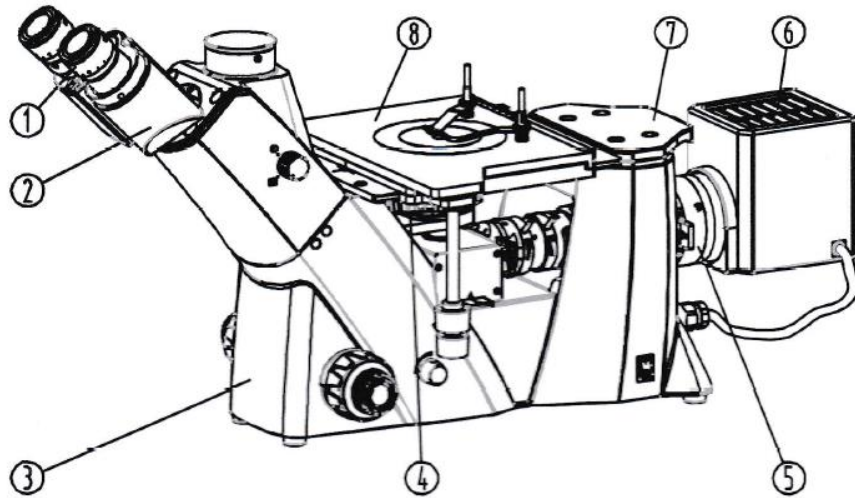


Рис. 1. Перелік основних деталей : 1 – Окуляр; 2 - Тринокулярна головка Sidentopf; 3 - Основний блок; 4 – Револьвер; 5 - Блок освітлення Ері; 6 - Корпус лампи; 7 - Тримач; 8 - Рухомий столик

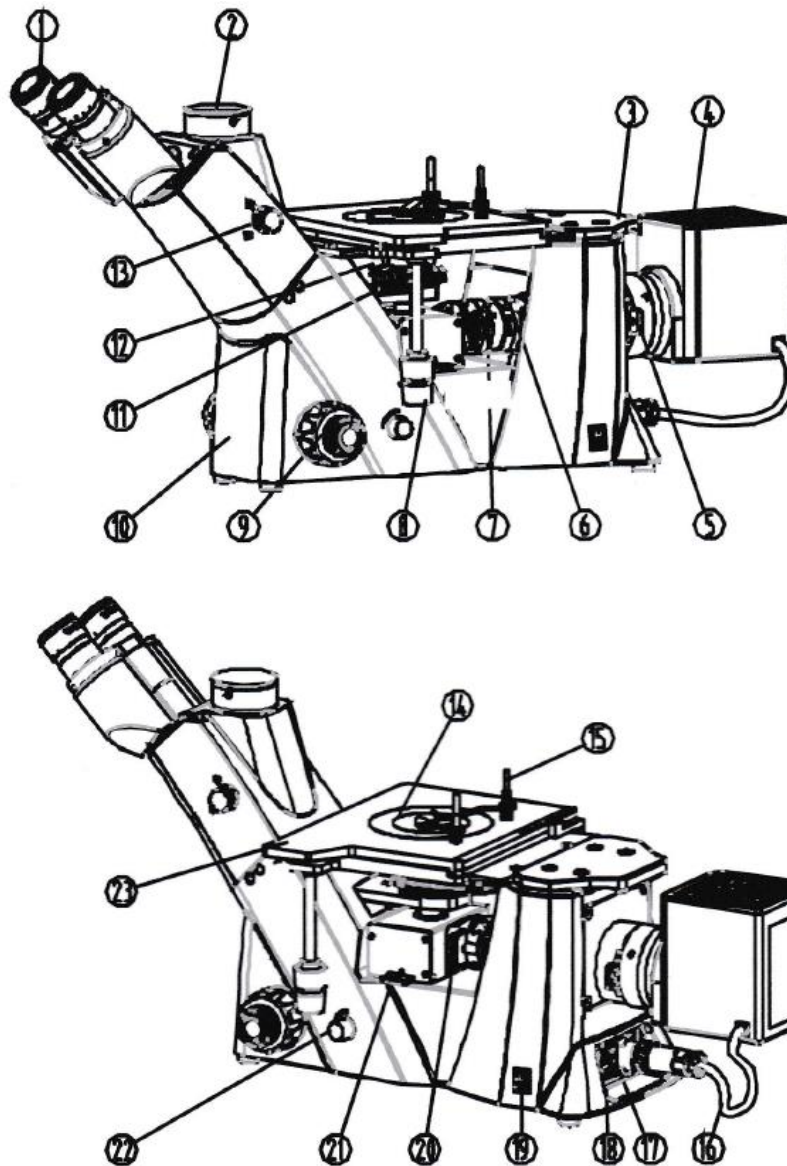


Рис. 2. Перелік основних деталей:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1) Окуляр | 12) Об'єктив |
| 2) Тринокулярна головка Siedentopf | 13) Ручка управління тринокуляром |
| 3) Утримувач | 14) Предметний столик |
| 4) Корпус лампи | 15) Затискач |
| 5) Повзунок фільтра | 16) Провід живлення корпусу лампи |
| 6) Апертура важеля діафрагми | 17) Роз'єм живлення |
| 7) Ручка управління діафрагми освітлювача мікроскопа | 18) Блок запобіжників |
| 8) Ручка переміщення | 19) Вимикач живлення |
| 9) Ручка регулювання грубого та тонкого фокусування, ручка регулювання столика | 20) Ручний змінник фільтрів |
| 10) Основний блок | 21) Регулятор аналізатора |
| 11) Револьвер | 22) Ручка потенціометра |
| | 23) Рухомий столик |

Етапи спостереження (У світлому полі)

Послідовність етапів спостереження на рис.3.

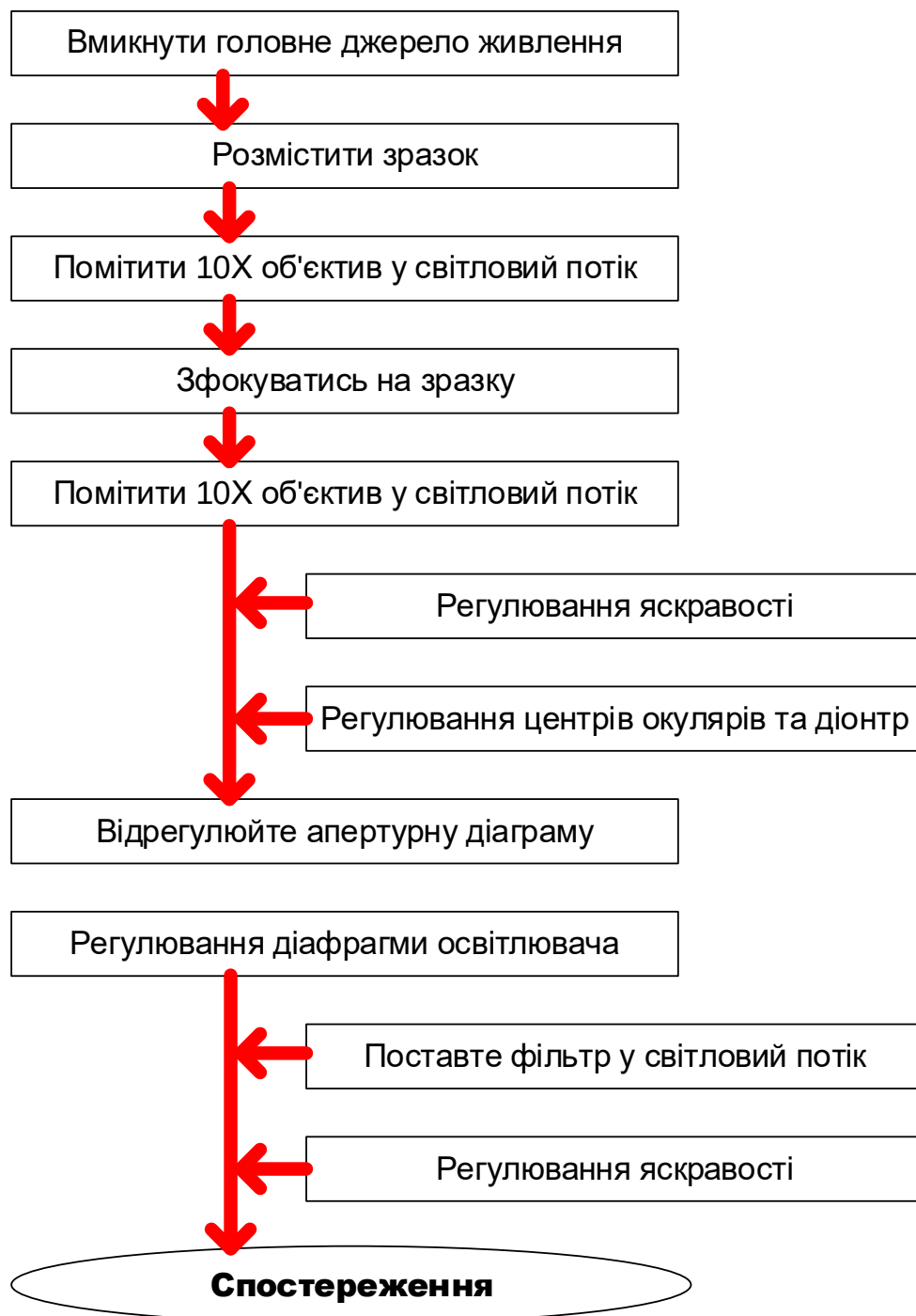


Рис. 3. Етапи спостереження (У світлому полі)

Експлуатація

Основний блок.

Увімкніть джерело світла

а. Поверніть ручку потенціометра (1) до мінімуму, встановіть вимикач живлення у положення 1.

б. Повертайте ручку потенціометра (1) для збільшення або зменшення яскравості для гарного освітлення.

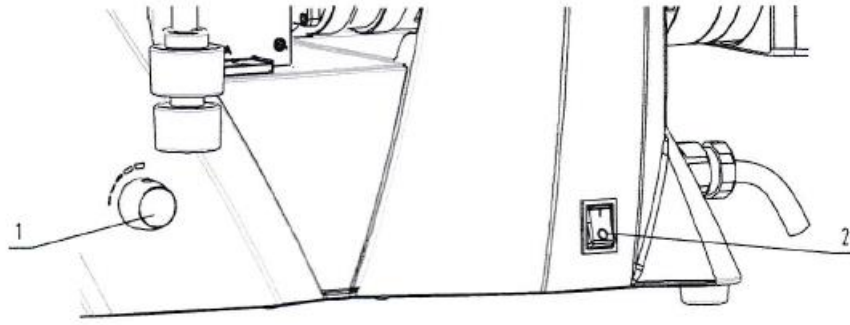


Рис. 4. Вимикач живлення

Регулювання апертурної діафрагми (рис.5)

Обережно посуньте рукоятку (1) повзунка, щоб відрегулювати апертурну діафрагму. Це визначає числову апертуру системи освітлення. Оператор може регулювати глибину фокусу в міру необхідності, усувати розсіяне світло, покращувати контрастність поля та якість зображення.

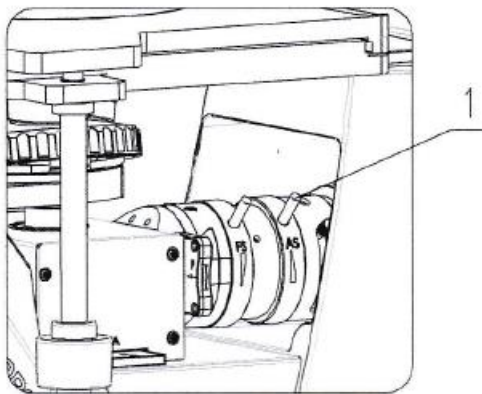


Рис. 5. Регулювання апертурної діафрагми

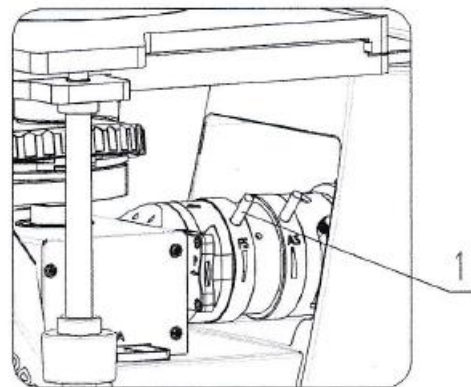


Рис. 6. Регулювання польової діафрагми

Регулювання польової діафрагми (Рис. 6)

Акуратно переміщуйте важіль (1) діафрагми, щоб відрегулювати польову діафрагму та отримати чітке зображення після фокусування зразка.

- У звичайному стані польова діафрагма має бути більшою за діафрагму освітлювача мікроскопа.
- Діафрагма апертури та центр польової діафрагми були відрегульовані перед - доставкою, тому не потрібно їх налаштовувати знову.

Використання фільтра

А. Вийміть фільтри та повзунк фільтра.

В. Вставте необхідний фільтр у повзунок фільтра, як показано на рис. 7.

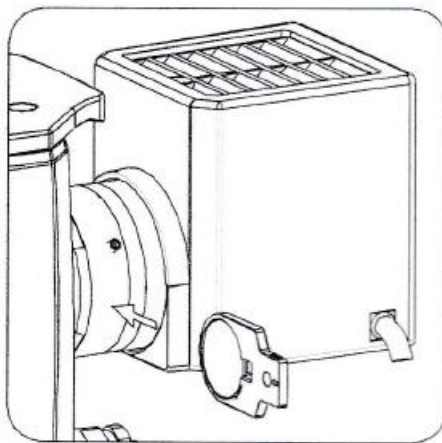


Рис. 7. Встановлення фільтра

Блок фокусування

Регулювання коаксіального грубого фокусування

а. Можна регулювати напругу грубого фокусування, утримуйте кільце регулювання (1) і поверніть його. Напрямок проти годинникової стрілки – зменшення, напрямом за годинниковою стрілкою – збільшення.

б. Якщо столик автоматично зменшується, зразок відхиляється від точки фокусування, означає занадто низький натяг, обертання кільця регулювання (1) за годинниковою стрілкою збільшить натяг.

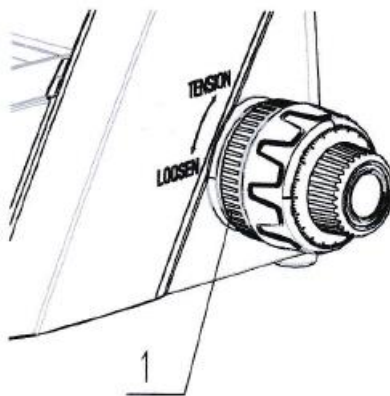


Рис. 8. Регулювання натягу грубого фокусування

Не повертайте одночасно ручки грубого і тонкого фокусування у зворотному напрямку.

Тубус

Регулювання відстані між окулярами

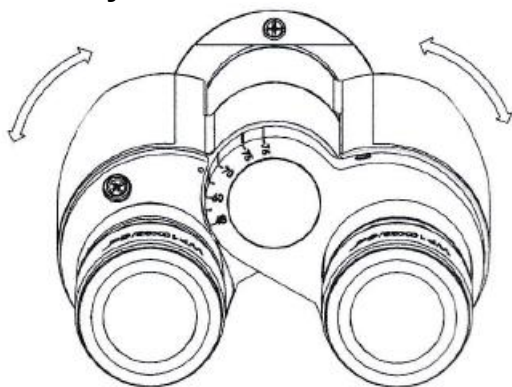


Рис. 9. Регулювання відстані між окулярами

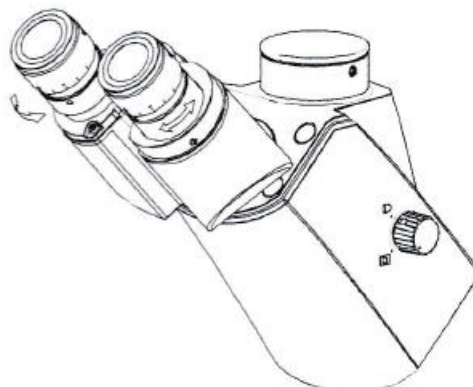


Рис. 10. Регулювання діоптру

Корируйте бінокулярну трубку так, щоб ліве та праве поле збігалися повністю. Точка індикації ® – інтерполярна відстань.

Регулювання діоптру

а. Дивлячись правим оком у правий окуляр, фокусуйтеся на зразку за допомогою ручки грубого та тонкого фокусування.

б. Дивлячись лівим оком у лівий окуляр, фокусуйтеся на зразку за допомогою ручки грубого та тонкого фокусування

Фіксація окуляра

Окуляр можна затягнути за допомогою гвинта (1) (мал. 11), якщо ви хочете змінити окуляр, спочатку відкрутіть його (1).

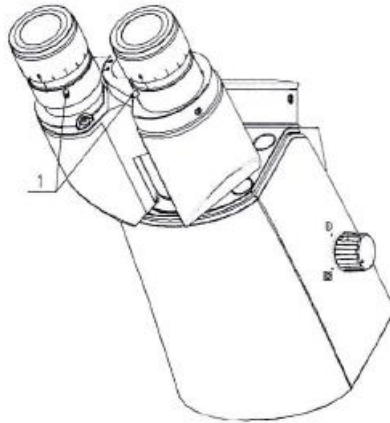


Рис. 11. Блокування окуляра
Столик

Розміщення зразка

Помістіть зразок на круглу плиту столика, покладіть досліджувану сторону вниз, зафіксуйте зразок за допомогою затискачів, щоб зробити спостереження.

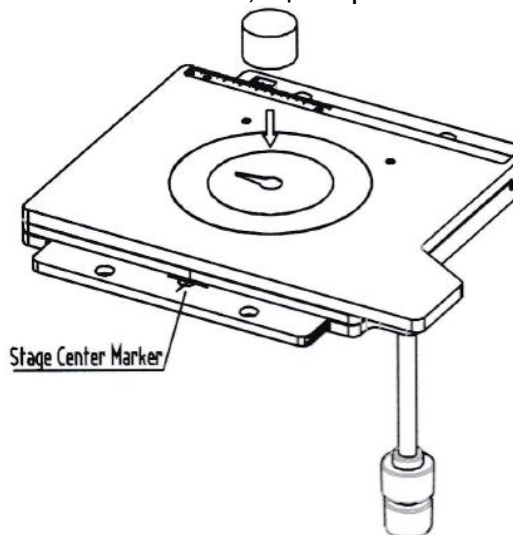


Рис. 12. Розміщення зразка

Переміщення зразка

а. Предметний столик може вільно переміщатися у напрямку Х та У.

б. Встановіть стандартну пластину (1) на предметний столик.

с. Вставте затискачі у столик гвинтовим з'єднанням.

д. Зафіксуйте зразок за допомогою затискачів для спостереження.

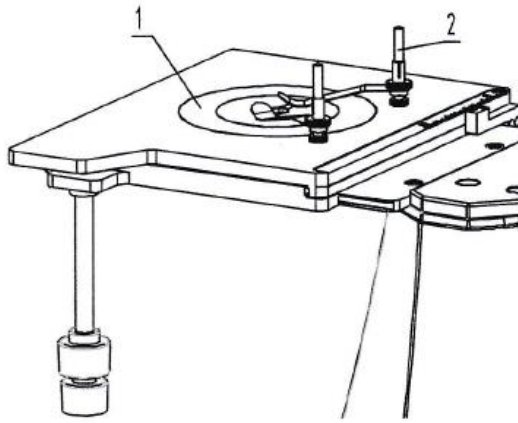


Рис. 13. Предметний столик

Якщо зразок важчий, будь ласка, помістіть його в центральну зону столика, щоб уникнути деформації.

Просте поляризаційне спостереження

Поляризатор і аналізатор використовуються тільки для поляризаційного спостереження, звичайне спостереження не потребує їх використання через низьку інтенсивність світла.

А. Вставте регулятор аналізатора (А) у відповідний слот, помістивши його у світловий потік (Рис. 14).

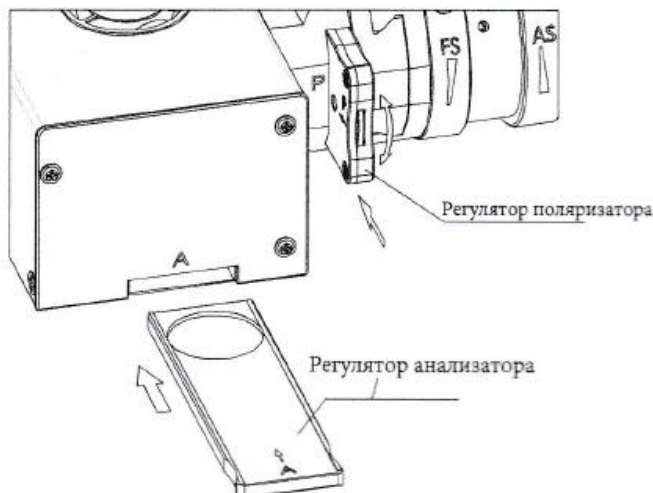


Рис. 14. Ручка перетворення яскравого та темного поля

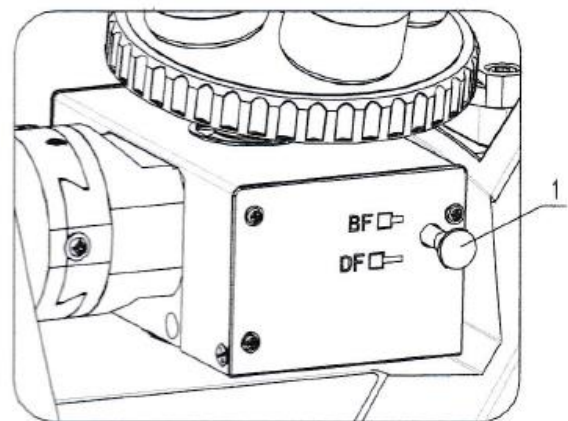


Рис. 15. Приміщення аналізатора у світловий потік

Б. Вставте регулятор поляризатора (Р) у відповідний слот, переміщаючись траєкторією світлового променя.

В. Приміщення об'єкта з сильним відбитим світлом і без поляризації, наприклад поверхні дзеркала, на столик

Г. Поверніть колесо поляризатора, щоб зробити поле темнішим. (Рис. 14)

Д. Помістіть зразок на столик, поверніть його для спостереження поляризації.

Використання блоку освітлення (з металургійними частинами темного поля)

1. Спостереження у світлому полі

а) Поверніть апертурну діафрагму в центр оптичної осі (було встановлено перед поставкою).

б) Відрегулюйте ручку перетворення яскравого та темного поля у ВЕ (Рис. 15).

с) Налаштуйте апертурну діафрагму, щоб покращити яскравість та контрастність.

2. Спостереження у темному полі

- a) Налаштуйте апертурну діафрагму до максимуму.
- b) Налаштуйте польову діафрагму до максимуму.
- c) Витягніть рукоятку перетворення яскравого та темного поля (1) в DF.
- d) Налаштуйте ручку потенціометра до потрібної яскравості.

Таблиця 2

Виявлення та усунення несправностей

Проблема	Причина	Вирішення
1. Оптична система		
a) Неповне поле або нерівномірне освітлення.	Револьвер не знаходиться в правильному положенні.	Відрегулюйте правильне положення.
	Регулятор фільтру не знаходиться в правильному положенні.	Відрегулюйте повзунок фільтру.
	Регулятори аналізатора і поляризатора не повністю виведені з оптичного шляху.	Переміщення регуляторів поляризатора і аналізатора повністю з оптичного шляху.
b) Знайдено бруд чи пилюку в полі об'єктиву.	Брудний колектор забруднення.	
	Брудний зразок.	
	Брудний окуляр.	
c) Погана якість зображення, наприклад, не різке, низький контраст зображення, деталі зображення не зрозумілі.	Об'єктив знаходиться не в правильному положенні.	Поверніть револьвер в фіксованому положенні.
	Об'єктив передньої лінзи брудний.	Добре очистіть.
	Зразок брудний.	Добре очистіть.
	Апертурна діафрагма дуже відкрита або звужується.	Відрегулюйте апертурну діафрагму в потрібне місце.
d) Фрагмент зображення нечіткий або «неспокійне» зображення.	Об'єктив в неправильному положенні.	Поверніть револьвер в фіксоване положення.
	Зразок розтошовано неправильно на предметному столику.	Правильно розмістіть зразок і зафіксуйте його тримачем.
2. Механічний блок фокусування.		
a) Хід важеля регулювання грубого налаштування дуже тугий.	Дуже сильно затянуте кільце регулювання.	Послабте кільце регулювання, повторіть знову.
b) Револьвер автоматично зісковзує вниз.	Дуже погано затянуте кільце регулювання.	Затяніть кільце регулювання, повторіть знову.
3. Біноклярна насадка.		
Невідповідність оглядового поля в лівому і правому біноклярі.	Неправильні відстань між окулярами.	Правильно встановіть знову.
	Некоректний підбур діопрій.	
	Праве око і ліве коно з різними окулярами.	Заменіть один окуляр., щоб зробити його таким же, як і інший окуляр.
4. Система живлення.		

а) Лампочка не працює.	Нема лампочки.	Встановіть лампочку.
	Лампа або запобіжник зламані.	Замініть лампу або запобіжник.
	Непідключено живлення.	Включіть живлення.
б) Лампа трохи пошкоджена.	Не використовується спеціальна лампа.	Використовуйте спеціальну лампу.

Складання

Схема збирання (рис.16)

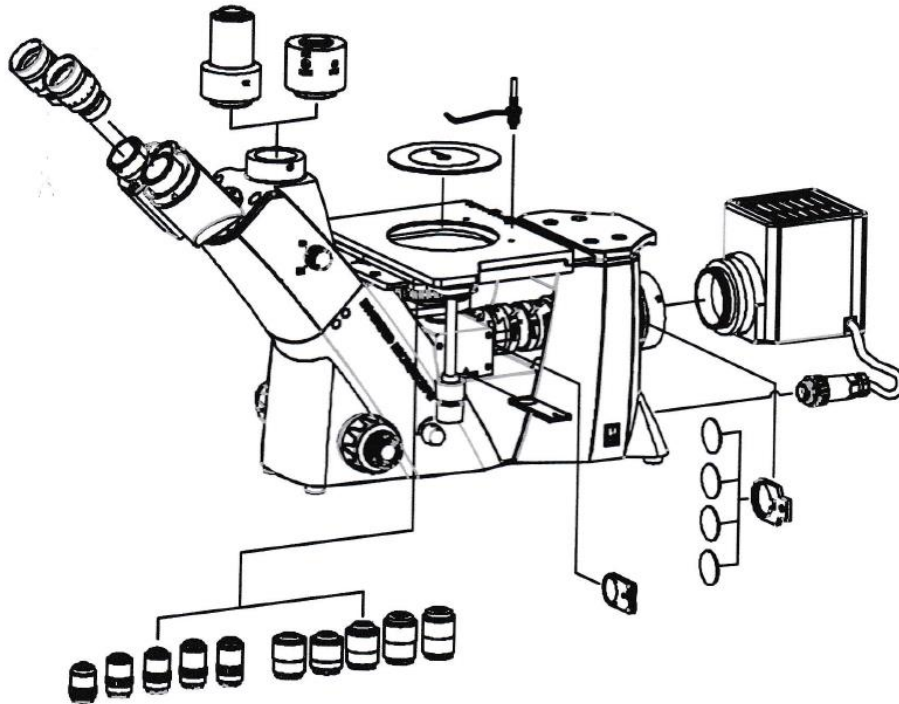


Рис. 16. Схема збирання

Етапи встановлення

Встановлення/заміна лампи (Рис. 3)

УВАГА: Перед заміною лампи від'єднайте штепсельну вилку.

а. Повністю послабте гвинт на верхній частині світильника, витягніть плафон лампи.

б. Ослабте штифт для фіксації колби, за допомогою рукавичок або марлі, тримаючи лампу, вставте її повністю в гніздо.

в. Встановіть лампу знову.

Лампа: Halogen 12V50W (PHILIPS або OSRAM)

Заміна запобіжника

УВАГА: Спочатку вимкніть вилку живлення.

Блок запобіжників встановлений під розеткою, номінал запобіжника: $\Phi 5 \times 20 \text{ мм}$, 2A / 250V

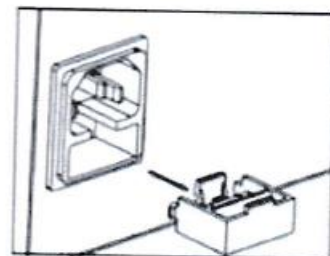
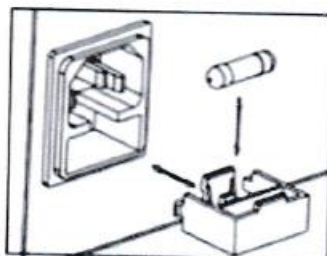
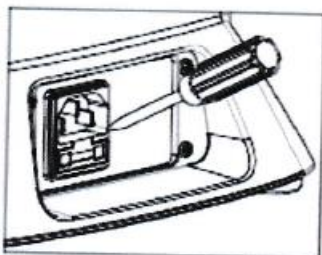


Рис. 17. Заміна запобіжника

Підключення до мережі живлення

УВАГА:

- а. Не згинайте і не скручуйте провід живлення
- б. Переконайтеся, що головний вимикач знаходиться на позначці "О" під час підключення до мережі.
- в. Необхідно використовувати трифазну вилку, до якої може підключити електрод, що заземлює. Інакше не можна використовувати мікроскоп. Якщо лінія електроживлення близька до блоку освітлення або відповідного пристрою, воно розплавиться та викличе електричний витік.

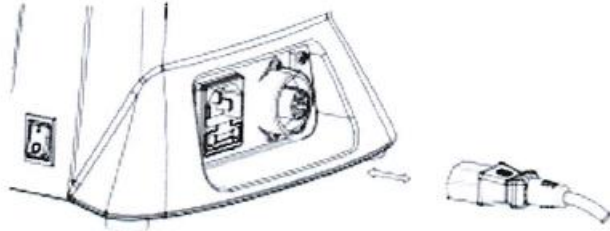


Рис. 18. Підключення до мережі

Встановлення об'єктива (рис. 19)

Спочатку акуратно підніміть револьвер, знявши пилозахисний чохол, потім встановіть об'єктив із найменшим збільшенням у круглий отвір столика (1), і встановлюйте об'єктиви в порядку зростання збільшення у напрямку проти годинникової стрілки.

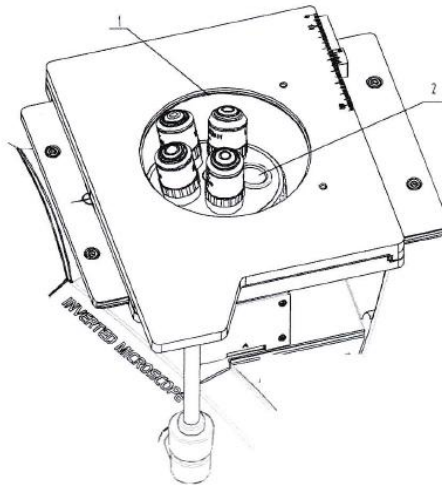


Рис. 19. Встановлення об'єктива

* Регулярно очищайте об'єктив, тому що об'єктив інвертаційного мікроскопа легко забруднюється пилом та брудом.

* Для запобігання попаданню пилу та бруду використовуйте чохол.

Встановлення пластини для зразка

Встановіть пластину для зразка (1) у круглий отвір столика, переконайтеся, що столик виставлений за рівнем.

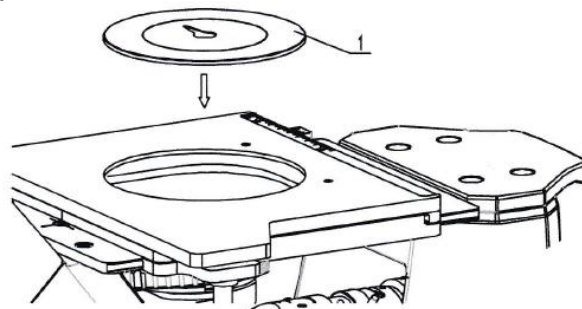


Рис. 20. Встановлення пластини для зразка

Встановлення блоку освітлення

Перед підключенням ліній живлення переконайтеся, що головний вимикач вимкнений і знаходиться в положенні "О"

- а) Візьміть частини блоку (1), міцно з'єднайте з основним корпусом,
- б) Використовуйте гайковий ключ, щоб затягнути два гвинти (2).
- с) Вставте з'єднувальний шнур для блоку освітлення в окреме гніздо, затягніть фіксуючий ковпачок.

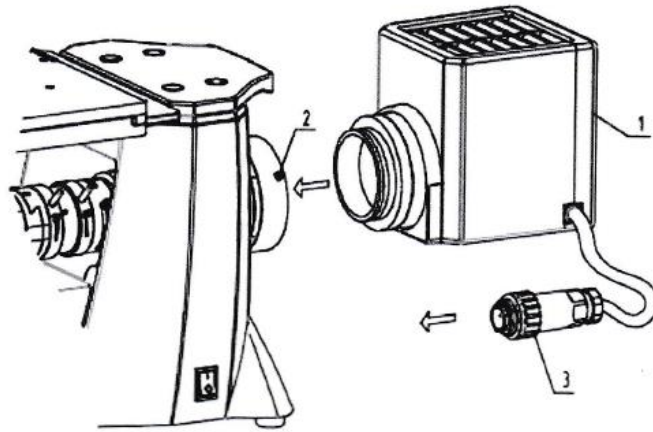


Рис. 21. Встановлення блоку освітлення

Встановлення системи зйомки

Встановлення відеосистеми

- а) Зніміть пилозахисний чохол, використовуйте ключ, щоб відкрутити гвинт у триконтактному роз'ємі тубуса.
 - б) Під'єднайте С-подібне кріплення з роз'ємом тубуса, Цифрову камеру з С-подібним кріпленням.
 - с) Затягніть стопорний гвинт.
- Зніміть цифрову камеру, якщо вона не використовується, тримайте її в сухому місці. З'єднувальний роз'єм закривайте кришкою для захисту від пилу.

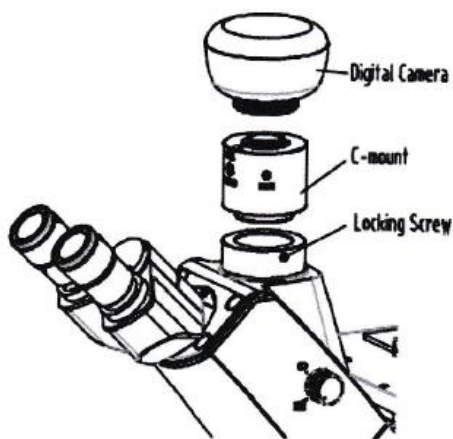


Рис. 22. Встановлення відеосистеми

- 4) Прочитайте посібник користувача щодо використання цифрової камери та схеми підключення до мережі.

Встановлення цифрової фотозйомки (Опціонально) (рис. 23.)

- а) Спочатку зніміть пилозахисний чохол, використовуйте шестигранний ключ, щоб викрутити гвинт із роз'єму тринокулярного тубуса.
- б) Потім акуратно підключіть цифрову фотокамеру \$18 із адаптером.
- с) Потім з'єднайте дзеркальну фотокамеру з C-Toїту.

д) Послабте стопорний гвинт для окуляра фотоапарата, відрегулюйте напрямок цифрової камери 518 відповідно до потреб користувача, а потім затягніть стопорний гвинт.

е) Будь ласка, зніміть цифрову камеру, якщо вона не використовується, тримайте її в сухому місці. З'єднувальний гніздо для кришки з кришкою для захисту від пилу.

ф) Будь ласка, прочитайте посібник користувача про цифрову фотокамеру та її підключення до ланцюга.

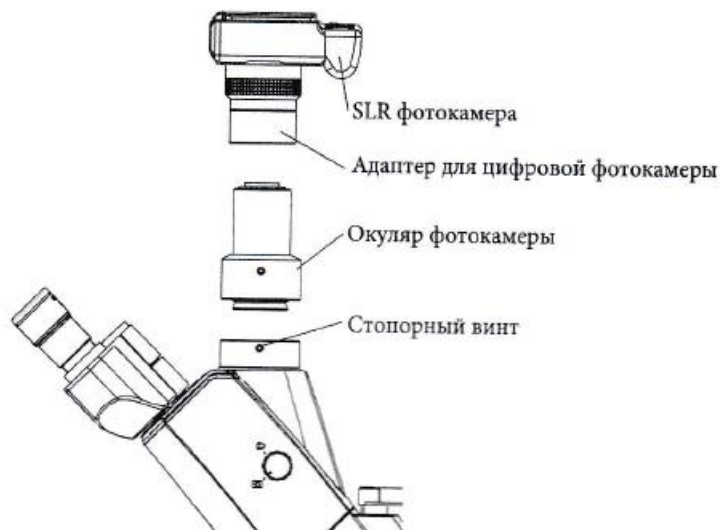


Рис. 23. Встановлення цифрової відеокамери SLR

Програмне забезпечення (ПЗ) для аналізу зображень інвертаційного металургійного мікроскопа DMI VICTORY Matereal Plus 4.1

Програмне забезпечення нового покоління дозволяє провести аналіз зображень. Програма має зручний одновіконний інтерфейс, підтримує будь-які плати захвату зображення, камери та мікроскопи.

Програма може працювати із сірими монохромними (8 біт) та кольоровими (24 біти) зображеннями. Дозволяє відкрити одночасно кілька зображень будь-якого розміру для аналізу та порівняння. Підтримує формати зображень BMP, JPEG, TIFF, PNG, GIF, PSD. Графіки та діаграми можна легко перенести до інших програм Windows (MS Word, MS Excel або будь-які інші програми для створення звітів та презентації).

Головний інтерфейс програми на рис. 24.

Інсталяція ПЗ

Для встановлення програми вставте CD диск, на якому записана програма, в CD-ROM. Запустіть файл Setup.exe із папки Disk1. Виконайте вказівки, які з'являться під час інсталяції, натискаючи кнопку Далі (рис. 24).

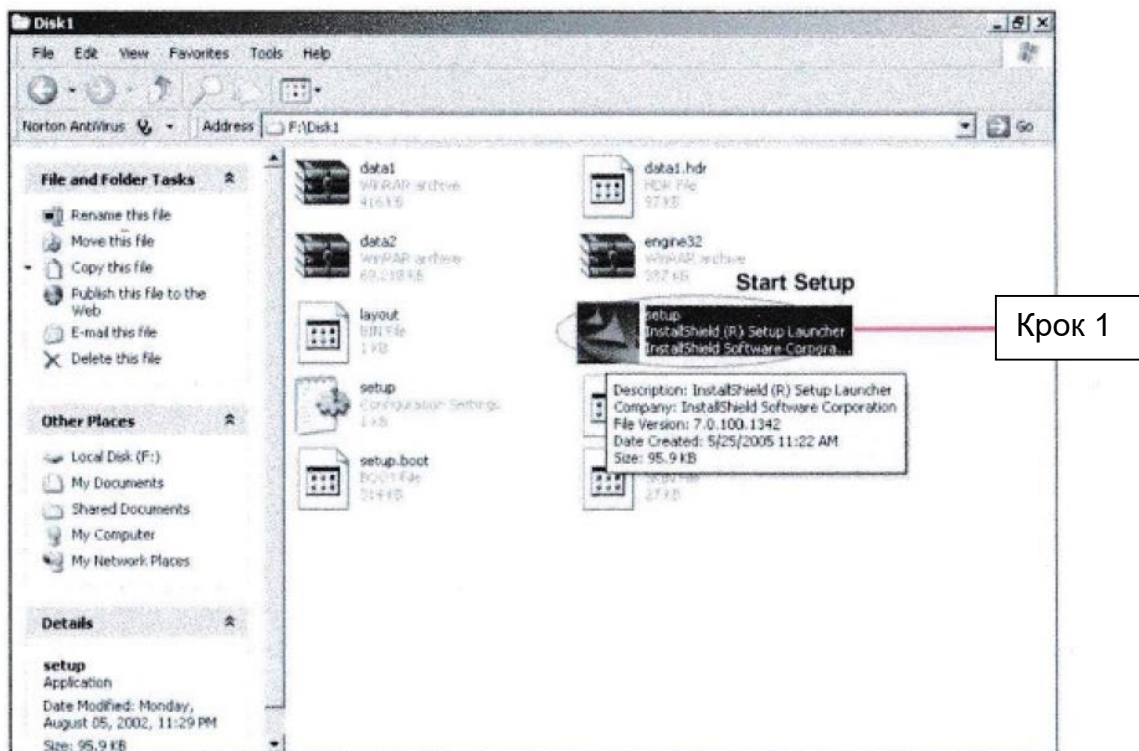


Рис. 24. Інсталяція програмного забезпечення (Крок 1)

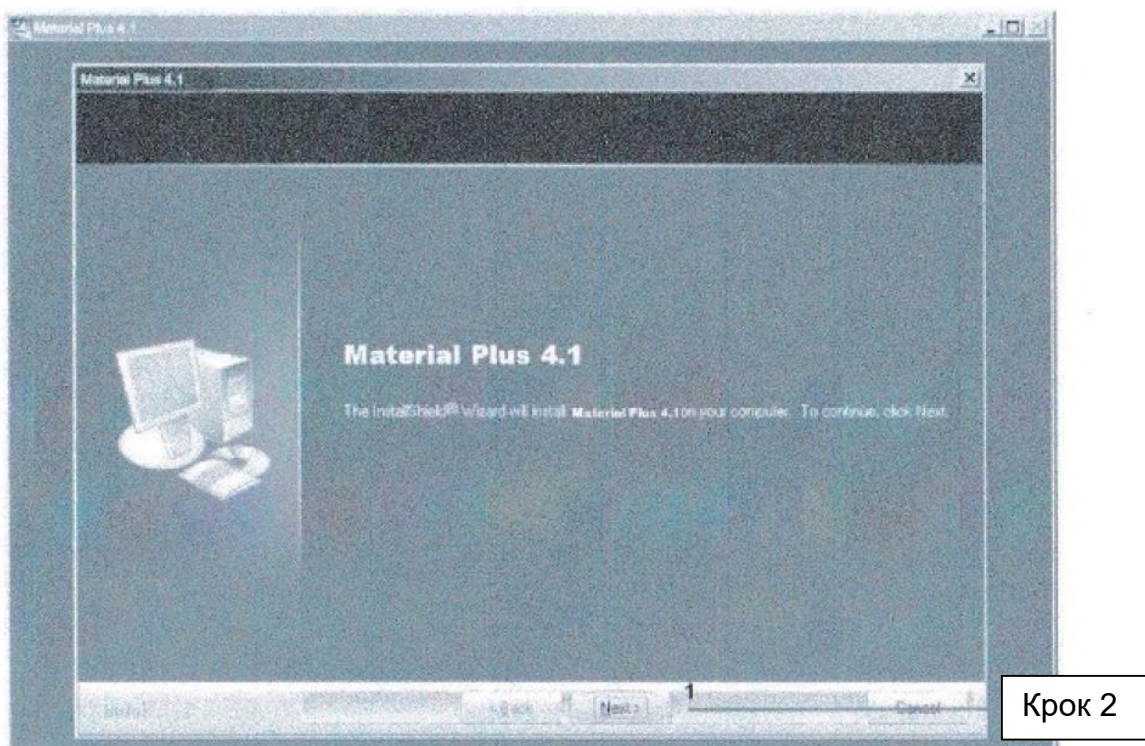


Рис. 25. Запуск ПЗ (Крок 2)

Панелі інструментів іконки (перелік)

Створити (Відкрити новий порожній файл)

Відкрити (Відкрити вже існуючий файл)

Зберегти (Зберегти оброблене зображення)

Вирізати (Вирізати вибрану частину зображення)

Копіювати (Копіювати вибрану частину зображення)

Вставити (Вставити скопійоване або вирізане зображення з буфера обміну)

Скасувати (Скасувати останню дію)

Повернути {Повернути дію}

Оновити (оновити зображення)

Друк (Надрукувати зображення)

Про Нас (Інформація про компанію та програмне забезпечення)

Довідка (Отримати довідку про програмне забезпечення)

Захоплення Оєлмггег (Захопити зображення з мікроскопа за допомогою камери)

Реальне Вимірювання (Вимірювання на реальному зображенні)

Змінити Розмір (Змінити розмір зображення)

Збільшити у 2 рази (200%)

Збільшити у 3 рази (300%)

Збільшити у 4 рази (400%)

Калібрування (Виконати відповідне калібрування вимірювального пристрою до аналізу зображення)

Вимірювання – відкриває вимірювальний модуль для вимірювання на зображенні.

Глобулярність включень - автоматично ідентифікувати та порахувати об'єкти у зображенні на основі їх відтінків сірого/інтенсивності.

Частина - Вимірювання певної частки, ідентифікованої за її діапазоном шкали сірого/інтенсивності.

Сегментація гістограми. Створіть гістограму градацій сірого для зображення в градаціях сірого для вимірювання інтенсивності та фази на основі АЗТМ 562.

Сегментація кольору – створення окремого кольорового зображення джерела кольору.

Кулястість - обчислює розмір та кількість вузлів у зображенні.

Вимірювання зерен - підрахувати кількість тріщин та кількість перетинів у зображенні зерен за методами кола та квадрату.

Пластівці - Вимірювання кількості пластівців у зображенні.

Товщина покриття – вимірює товщину або ширину покриття в декількох положеннях вздовж зразка. Корисно вимірювати шар одного металу, нанесеного на інший, щоб захистити його або шар фарби тощо.

Увімкнення - Виміряйте увімкнення зображення на основі ASTM.

Пористість - розпізнавання та вимірювання пористості вашого зразка матеріалу відповідно до ASTM B276.

Обезуглерожування - вимірює глибину або ширину обезуглероживання, наприклад, з вуглецем, що спалюється з поверхні сталі в процесі термообробки

Вікно Звіту (Відкриває вікно звіту для перегляду звітів, готових до друку)

Видалити Звіт (Видалити звіт зі списку звітів)

Вибрати та Перемістити (використовується для переміщення об'єкта в межах зображення)

Олівець (Використовується для малювання об'єктів неправильної форми на зображенні)

Ластик (Витирає лінії, намальовані олівцем)

Додати Текст (Використовується для додавання тексту до зображення)

Розпорошити Колір (Розпорошення вибраного кольору на зображення)

Стрілка (Додати стрілку будь-якого розміру та кольору на зображенні)

Еліпс (Використовується для малювання кола або еліпса)

Прямокутник (Використовується для малювання прямокутника або квадрата)

Відобразити Горизонтально (Відображає зображення по горизонталі)

Відобразити Вертикально (Відображає зображення по вертикалі)

Лупа (Зображення через збільшувальне скло)

Палітра кольорів (Команда зміни кольору міток, стрілок, тексту, камери-люциду, сітки, ліній вимірювання)

Захоплення зображення (камера)

Для захоплення зображення необхідно:

1. Виберіть: **Почати Зйомку** 4 на панелі інструментів.
2. У вікні програми з'явиться реальне зображення.
3. Натисніть на **Властивості Захоплення**, щоб відрегулювати баланс білого та інші параметри зображення.

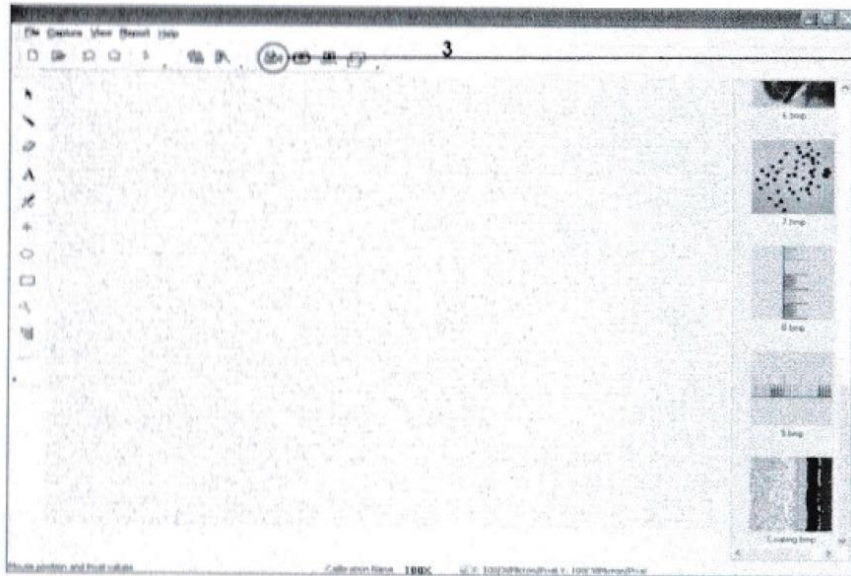


Рис. 26. Вибір панелі інструментів **Почати Зйомку** (Крок 3)

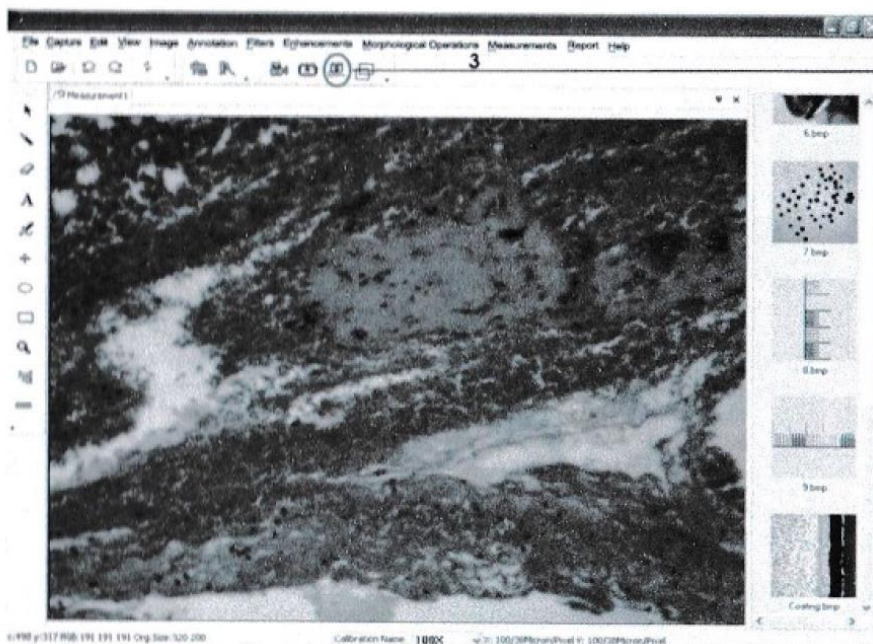


Рис. 27. Крок 4

4. Встановіть потрібний баланс
 5. Щоб змінити колір та освітлення, виберіть пункт **Регулювання кольору** та експозиція відповідно.
- Важливо:** Найкраще використовувати параметр **За замовчуванням**.

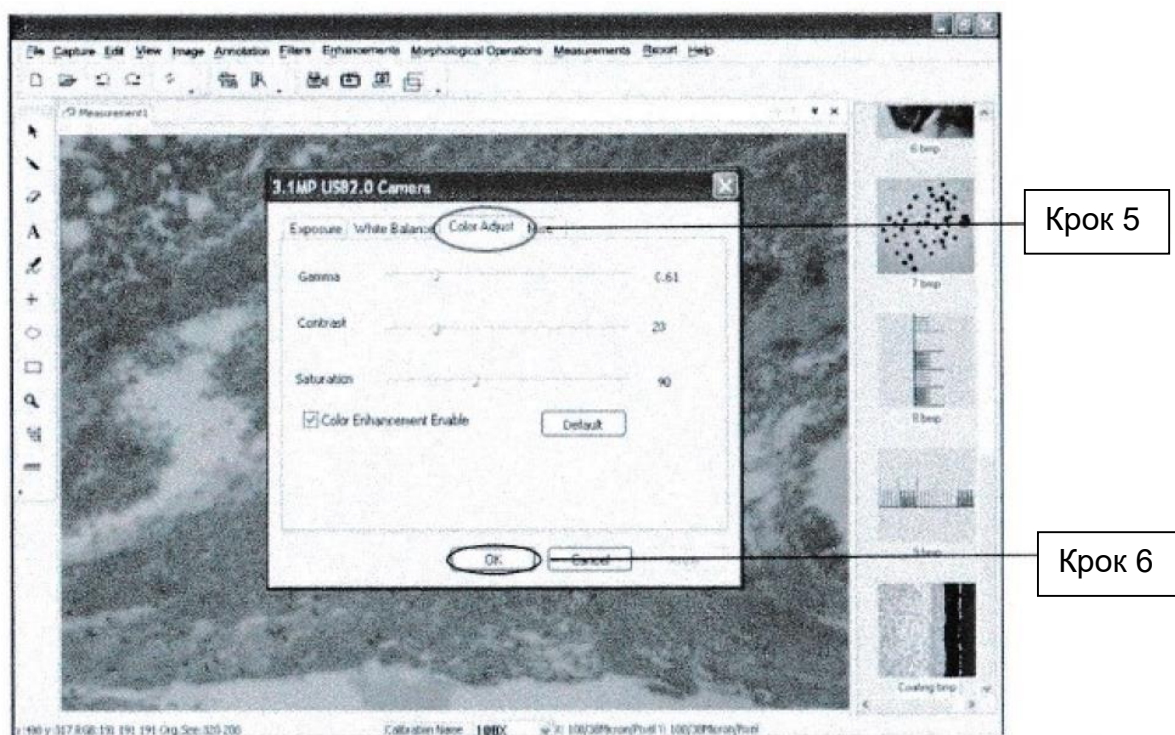


Рис. 28. Кроки 5, 6

1. Натисніть піктограму **Захоплення Зображення**, щоб захопити зображення.
2. Щоб переглянути зображення у повноекранному режимі, натисніть піктограму Повноекранний Перегляд. Щоб вийти з цього режиму, натисніть праву кнопку миші.



Рис. 29. Кроки 7, 8

Калібровка

Необхідно відкалібрувати всі об'єктиви мікроскопа, на якому встановлено камеру. Калібрування варто проводити тільки після того, як налаштовано все обладнання та програмне забезпечення. При зміні настройок або зміні частин обладнання, калібрування необхідно провести заново.

Порядок дій

1. Помістіть об'єкт-мікрометр під перший об'єктив мікроскопа у напрямку X, зафіксуйте зображення та збережіть його під відповідним ім'ям. Наприклад, якщо використовується об'єктив 4X, збережіть зображення під ім'ям 4X-X. Перемістіть об'єкт-мікрометр у напрямку Y, захопіть зображення, збережіть під ім'ям 4X-Y.

2. Повторіть процедуру для всіх об'єктивів.

3. Завантажте всі отримані зображення об'єкта-мікрометра.

4. Виберіть калібрування на панелі інструментів або з рядка меню.

5. Відобразиться діалогове вікно Калібрування.

6. Відкрийте перше зображення для першого об'єктива у напрямку X.

7. Вкажіть ім'я калібрування. Наприклад, 4X для об'єктива 4X.

8. Виберіть пункт Вимірювання. Зазвичай всі МІКРО вимірювання підраховуються у мікронах, а МАКРО вимірювання – у міліметрах.

9. Натисніть - (Калібрування по Осі X).

10. Утримуючи ліву кнопку миші, проведіть лінію від будь-якої позначки мікрометра до останньої великої позначки зображення. Зазвичай відстань між двома маленькими лініями мікрометра становить 10 мікронів. Відстань між двома великими лініями відповідає 100 мікронам. Для більшої точності рекомендується вибирати максимальну лінію. Ліву кнопку миші слід відпустити на вершині останньої великої лінії, а не на її основі.

11. Доступно збільшене зображення для точності нанесення ліній.

12. Припустимо, що ви провели лінію на відстань 500 мікронів, введіть це значення у полі перед шкалою абсцис.

13. Не натискайте **Зберегти** на цьому етапі,

14. Відкрийте зображення для цього об'єктива в напрямку Y.

15. Натисніть (калібрування по Осі Y).

16. Повторіть пункти 10-12 для осі ординат.

17. Натисніть Зберегти. Це калібрування для першого об'єктива.

18. Відкрийте зображення для другого об'єктива в напрямку X. Введіть нове ім'я калібрування. Наприклад, якщо це об'єктив 10X, ім'я може бути 10X.

19. Повторіть пункти 8-17 для другого об'єктива.

20. За наявності третього, четвертого, п'ятого об'єктивів, повторіть калібрування кожного з них.

Щоб скористатися вашим калібруванням, просто виберіть потрібне ім'я зі списку в рядку поточного стану. Після цього всі вимірювання будуть проводитися відповідно до цієї калібрування.

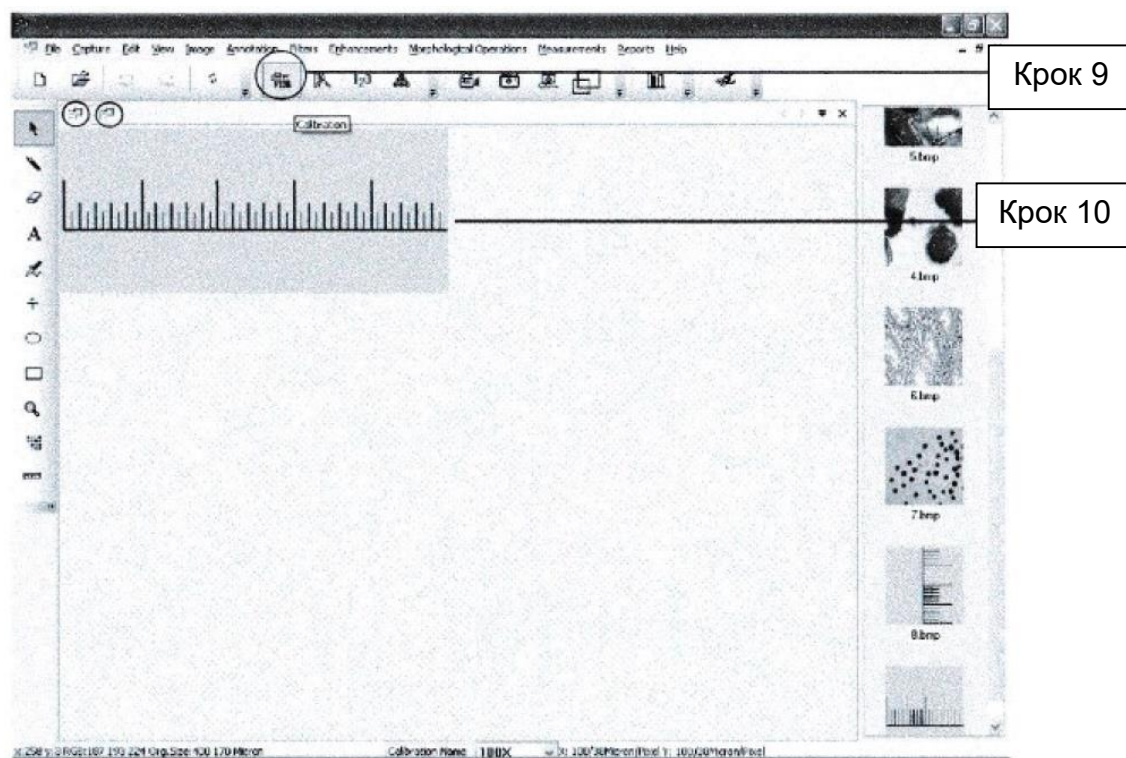


Рис. 30. Кроки 9, 10

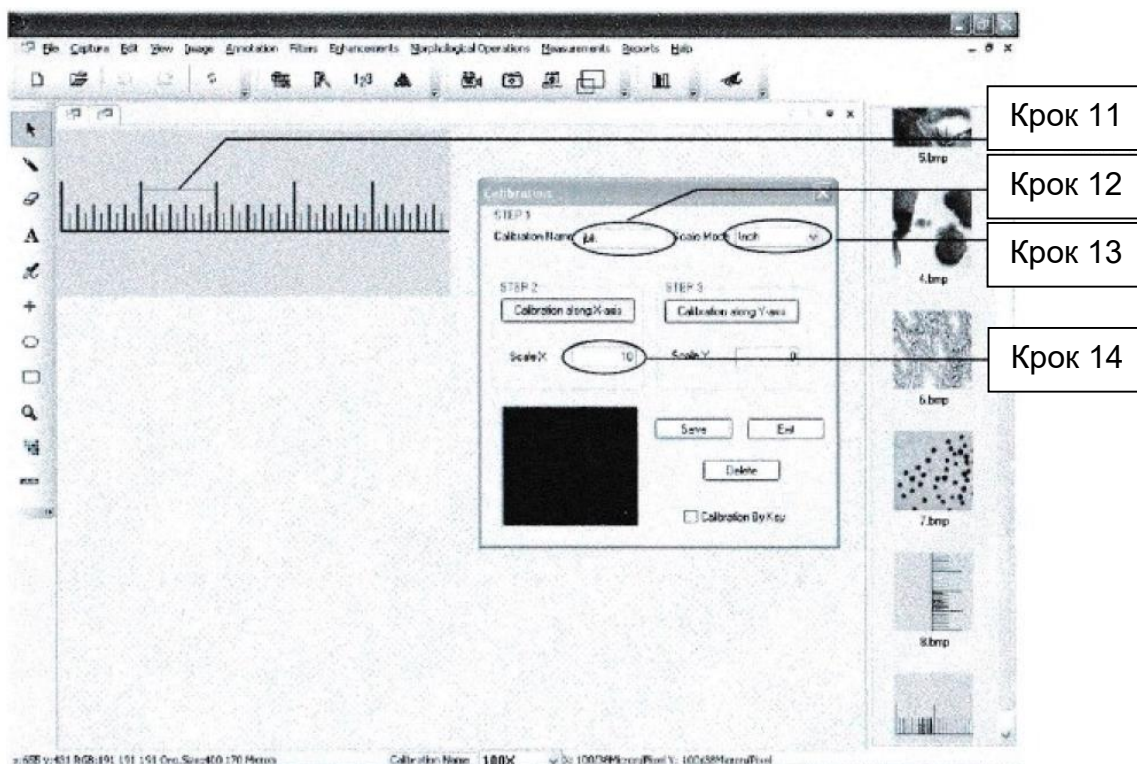


Рис. 31. Кроки 11-14

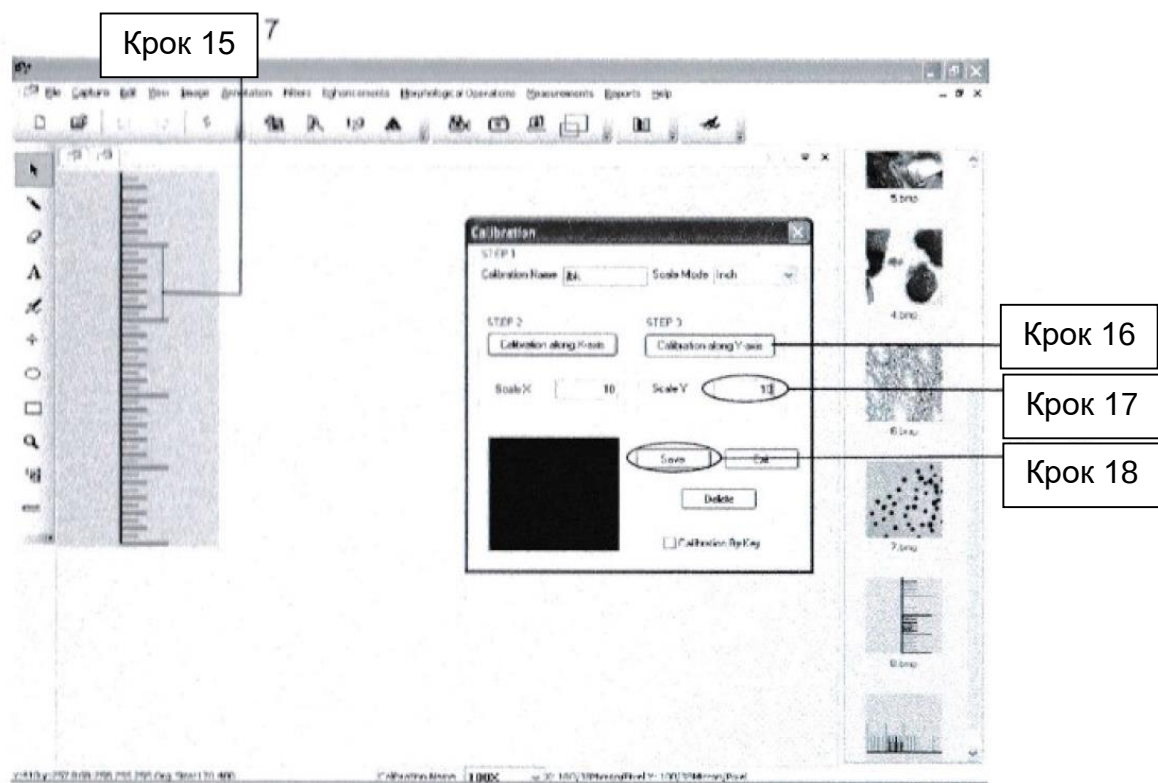


Рис. 32. Кроки 15-18

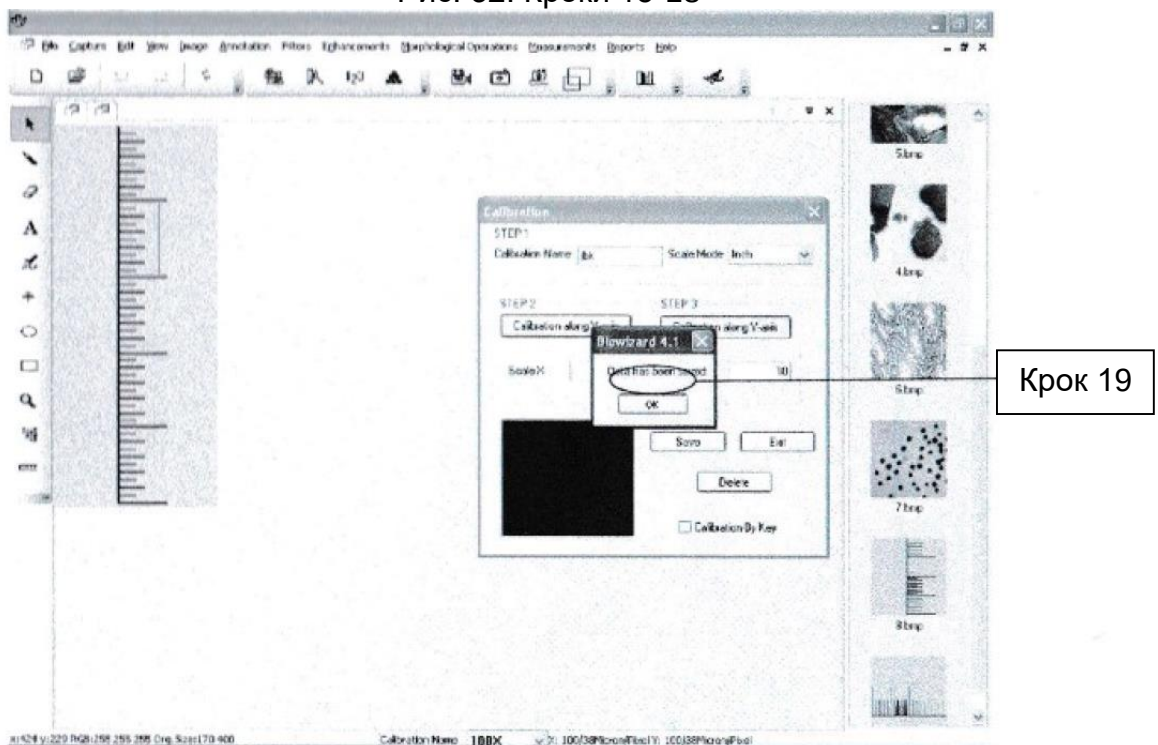


Рис. 33. Крок 19

Вимірювання

Модуль **Вимірювання** дозволяє виділити вручну (намалювавши лінії, контури, фігури) та виміряти об'єкти, які важко відокремити від фону зображення. Всі виміри зберігаються у спеціальному вікні, звідки вони можуть бути збережені у файл, виведені на друк або надіслані в іншу програму для подальшої обробки. Одиниці вимірювання залежать від поточного калібрування.

Доступні такі виміри:

Довжина по прямій - відстань між двома точками по прямій лінії;

Кут - кут в градусах між двома прямими лініями;

Довжина по кривій - довжина довільної лінії;

Ширина - мінімальна, максимальна та середня відстань між двома лініями, кривими, контурами;

Площа — площа замкнутої фігури або контуру, створеного за допомогою будь-яких інструментів програми;

Радіус - радіус за трьома точками на колі;

Периметр - Довжина контуру об'єкта;

Площа з клавіатури — площа поверхні, контури якої вводяться за допомогою кнопок курсор.

Порядок дій:

1. Завантажте зображення, на якому необхідно виміряти.
2. Виберіть потрібне просторове калібрування зі списку.
3. Виберіть пункт Вимірювання або клацніть на іконці Вимірювання. №.
4. Відкриється діалогове вікно.
5. Виберіть параметр, який потрібно виміряти, зі списку.
6. Довжина: утримуючи ліву кнопку миші, протягніть курсор від початкової до кінцевої точки відрізка. Доступний масштабований перегляд.
7. Довжина по кривій: утримуючи ліву кнопку миші, нанесіть криву лінію. Під час відпускання кнопки з'явиться результат вимірювань.
8. Кут: виберіть три точки на об'єкті, щоб визначити кут між двома лініями.
9. Радіус: виберіть три точки на колі, щоб визначити його радіус.
10. Периметр: позначте мишею контур об'єкта та, повернувшись досить близько до початкової точки, відпустіть ліву кнопку миші. Контур автоматично зімкнеться і буде підраховано його периметр.
11. Площа: для визначення вимірюваного об'єкта можна використовувати чотири інструменти - Прямокутник, Окружність, Довільний Контур, З Клавіатури. Доступний масштабований перегляд.

Прямокутник: цей інструмент призначений для приблизного швидкого вимірювання площі ділянки прямокутної або близької до прямокутника форми. Малюйте прямокутник від верхнього лівого до правого нижнього кута.

Окружність: цей інструмент призначений для приблизного швидкого вимірювання площі ділянки округлої форми. Утримуючи ліву кнопку миші, намалюйте коло, як тільки ви відпустите кнопку, результат буде підраховано.

Довільний Контур: застосовується до об'єктів неправильної форми. Утримуючи ліву кнопку миші, позначте контур фігури. Повернувшись досить близько до початкової точки, відпустіть кнопку. Контур автоматично замкнеться, і програма видасть результат.

З Клавіатури: контур об'єкта, що вимірюється, вводиться за допомогою клавіш курсору з клавіатури. Клацніть лівою кнопкою миші у стартовій точці і, використовуючи клавіші курсора та масштабований перегляд, намалюйте контур пікселів за пікселем. Натисніть ENTER, щоб підрахувати результати.
12. Кут між двома лініями: намалюйте дві лінії по краю об'єкта, щоб виміряти кут між ними.
13. Натисніть кнопку (Звіт), щоб зберегти вимірювання та переглянути їх у вікні звіту.
14. З'явиться вікно, яке потрібно заповнити.
15. Натисніть (Excel), щоб вивести результати в Microsoft Excel
16. Натисніть (Видалити все), щоб видалити всі результати вимірювань.
17. Натисніть (Видалити), щоб видалити певні результати вимірювань.
18. Натисніть (Вихід), щоб вийти з модуля Вимірювання.

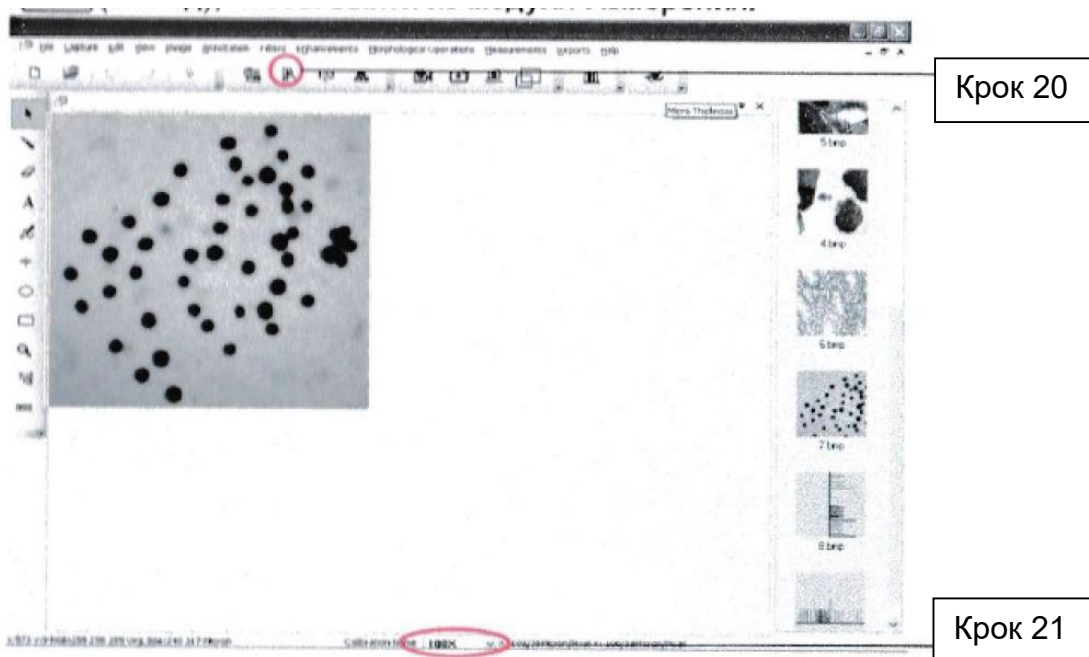


Рис. 34. Кроки 20, 21

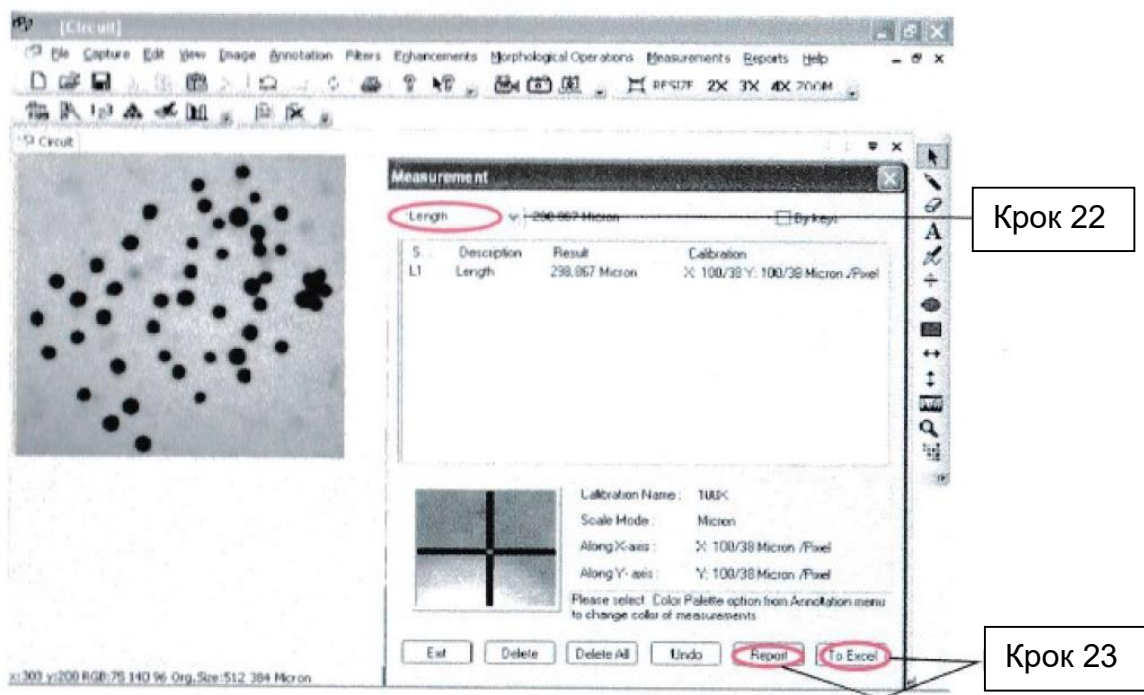


Рис. 35. Кроки 22, 23

Підрахунок та Класифікація

Опція "**Підрахунок та Класифікація**" використовується для автоматичного розпізнавання об'єктів на зображенні, їх підрахунку та отримання їх характеристик. Об'єкти розпізнаються на основі їх яскравості/відтінку сірого, характеристики можна задати вручну або автоматично програмою. самі відрізнялися від інших частин зображення, підраховані об'єкти можна класифікувати на основі результатів їх вимірювань.

Вибір об'єктів:

Доступні три режими вибору об'єктів за їх яскравістю/відтінком сірого:

Ручний. Виберіть цей режим, якщо хочете самостійно встановити діапазон яскравості визначення об'єктів.

Автоматичні яркі об'єкти. Виберіть цей режим, якщо хочете, щоб об'єкти були визначені програмою автоматично за яскравістю/відтінком сірого, припускаючи, що об'єкти яскравіші (світліші), ніж фон зображення.

Автоматичні темні об'єкти. Виберіть цей режим, якщо хочете, щоб об'єкти були визначені програмою автоматично за яскравістю/сірим відтінком, припускаючи, що об'єкти темніші, ніж фон зображення.

Номер

Номери об'єктів можна закодувати у кольорі, вибраному з вікна Палітра кольорів.

Діапазон

При виборі граничних розмірів можна встановити чотири діапазони.

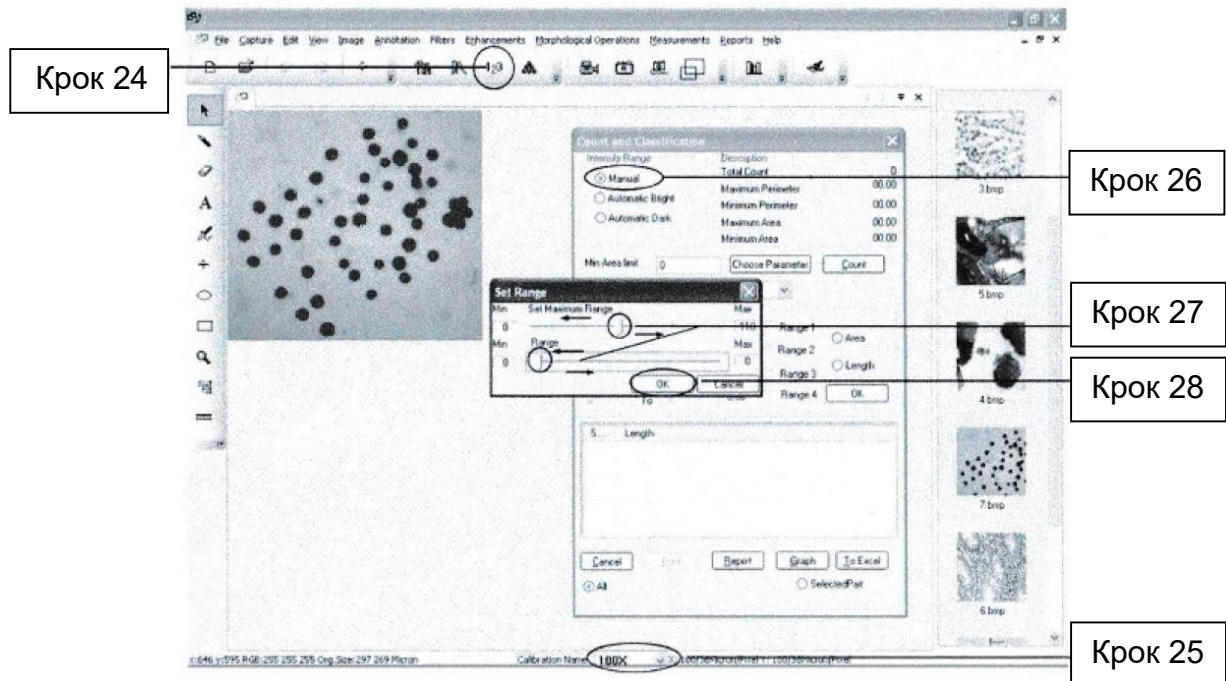


Рис 36. Кроки 24-28.

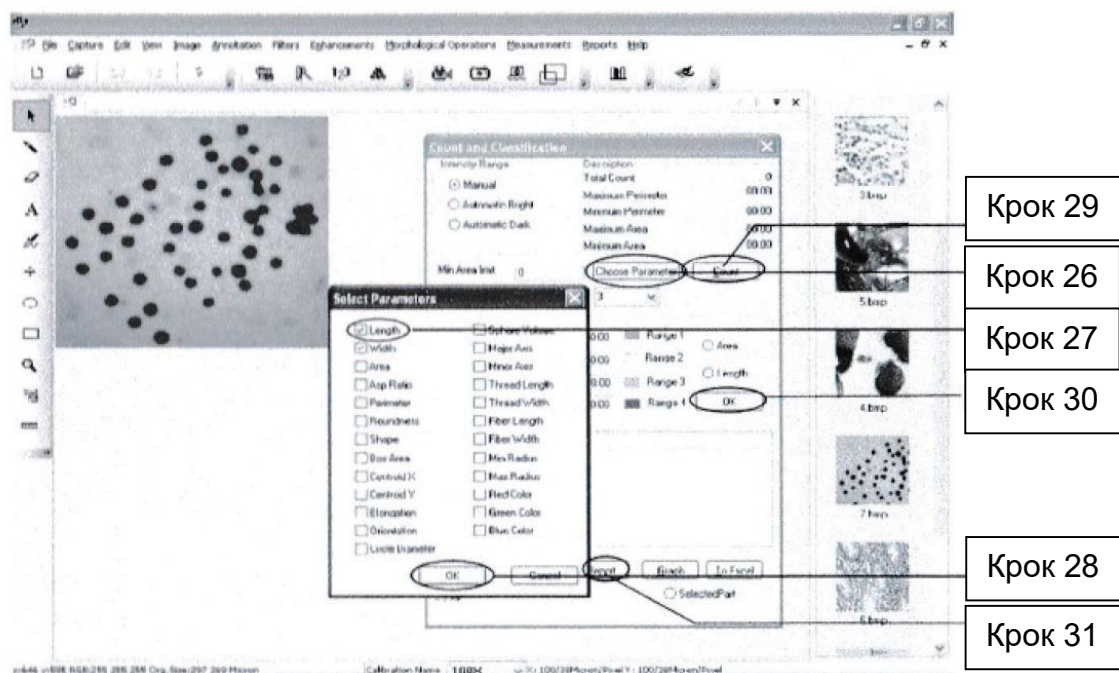


Рис 37. Кроки 26-31

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. На панелі інструментів натисніть кнопку **Підрахунок** або виберіть пункт меню.
3. Виберіть потрібне калібрування зі списку.
4. Виберіть Автоматично Яскраві Об'єкти/Автоматично Темні Об'єкти, якщо об'єкти яскравіші (світліші)/темніші за фон зображення.
5. Виберіть Вручну, якщо ви хочете самостійно визначити об'єкти (заповнити їх червоним кольором).
6. Клацніть **(ОК)**.
7. Клацніть (Вибрати **Параметри**). Виберіть параметр, який ви хочете виміряти (довжина, ширина, площа, співвідношення розмірів, округлість, форма, орієнтація, подовження, діаметр кола, обсяг сфери).
8. Клацніть **(Підрахувати)**. Відобразиться загальна кількість підрахованих частинок, макс/хв периметр, макс/хв площа.
9. Встановіть діапазон, якщо хочете знати кількість частинок у певному діапазоні. В іншому випадку за промовчанням буде встановлено чотири рівні діапазони.
10. Натисніть кнопку **(ОК)**. З'явиться таблиця з результатами вимірів (довжина, ширина, площа, периметр тощо) по кожній частинці. Кожна частка на зображенні матиме свій порядковий номер.
11. Щоб зберегти звіт у вікні звіту, натисніть кнопку **(Звіт)**.
12. Відобразиться вікно зразка. Заповніть номер зразка. Натисніть **(Зберегти Дані для Звіту)**.
13. Натисніть **(Шрифт)**, щоб змінити шрифт цифр на зображенні.
14. Клацніть **(Графік)**, щоб переглянути результати у вигляді графіка.
15. Натисніть **(Excel)**, щоб вивести результати в Excel.

Вимір Частинок

Опція Вимірювання Частинок використовується для отримання різних вимірювань певних частинок, що виділяються на основі їх яскравості/сірого відтінку. Частинки можна визначити вручну чи автоматично програмою. Бажано, щоб яскравість часток відрізнялася від тла.

Вибір об'єктів

Доступні три режими вибору об'єктів за їх яскравістю/відтінком сірого:

Ручний. Виберіть цей режим, якщо хочете самостійно встановити діапазон яскравості для визначення об'єктів.

Автоматичні яркі об'єкти. Виберіть цей режим, якщо хочете, щоб об'єкти були визначені програмою автоматично за яскравістю/відтінком сірого, припускаючи, що об'єкти яскравіші (світліші), ніж фон зображення.

Автоматичні темні об'єкти. Виберіть цей режим, якщо хочете, щоб об'єкти були визначені програмою автоматично за яскравістю/сірим відтінком, припускаючи, що об'єкти темніші, ніж фон зображення.

Порядок дій:

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Натисніть на піктограмі **Частинки** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
3. Виберіть потрібне калібрування зі списку.
4. Виберіть один із трьох режимів визначення частинок (їх фарбування псевдокольором) — **(Вручну)**, **(Автоматично Яскраві Об'єкти)**, **(Автоматично Темні Об'єкти)**.
5. При відкритті діалогового вікна за замовчуванням автоматично визначаються темні об'єкти, оскільки в більшості випадків частинки темніші, ніж фон.

6. Якщо деякі частинки або їх частини не було визначено автоматично, рекомендується використовувати режим (**Вручну**).

8. Натисніть (**ОК**).

9. Використовуйте Автоматично Яскраві Об'єкти, якщо частинки яскравіші/світліші за фон.

10. Наведіть курсор на будь-який об'єкт, що цікавить вас, клацніть по ньому лівою кнопкою миші і отримайте результати.

11. Дії можна повторювати нескінченно, щоб отримати результати по всіх об'єктах, що вас цікавлять.

12. Результати відображаються у таблиці. Доступні параметри вимірювань - довжина, ширина, площа, співвідношення розмірів, округлість, форма, орієнтація, подовження, діаметр кола, площа сфери, центроїд X, центроїд Y, велика вісь X, велика вісь Y, мала вісь X, мала вісь Y, площа блоку.

13. Колір та шрифт нумерації частинок на зображенні можна змінити, активувавши пункти меню (**Шифр та Колір**).

14. Щоб зберегти звіт у вікні звітів, клацніть (**Звіт**).

15. Відобразиться вікно зразка. Заповніть номер зразка. Натисніть (**Зберегти Дані для Звіту**).

16. Щоб відкрити звіт у Excel, натисніть (**Excel**).

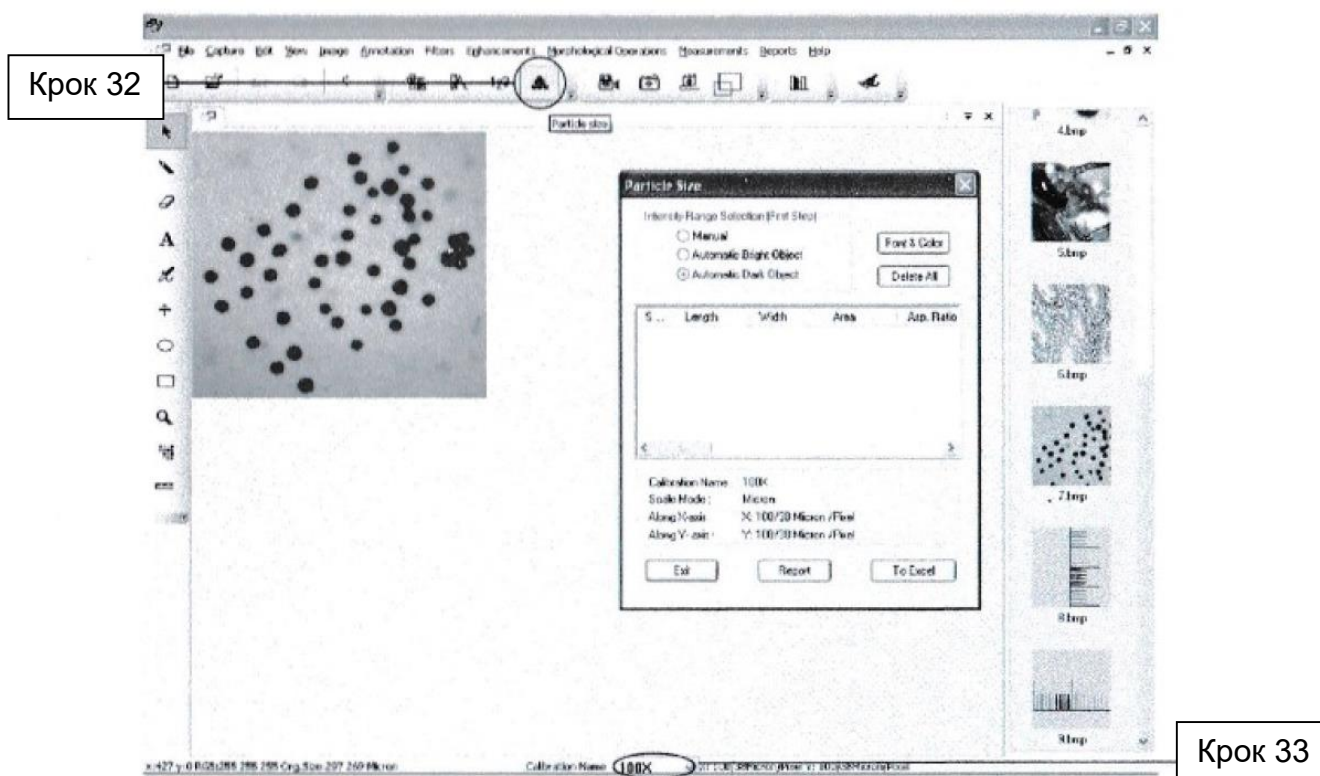


Рис. 38. Кроки 32, 33

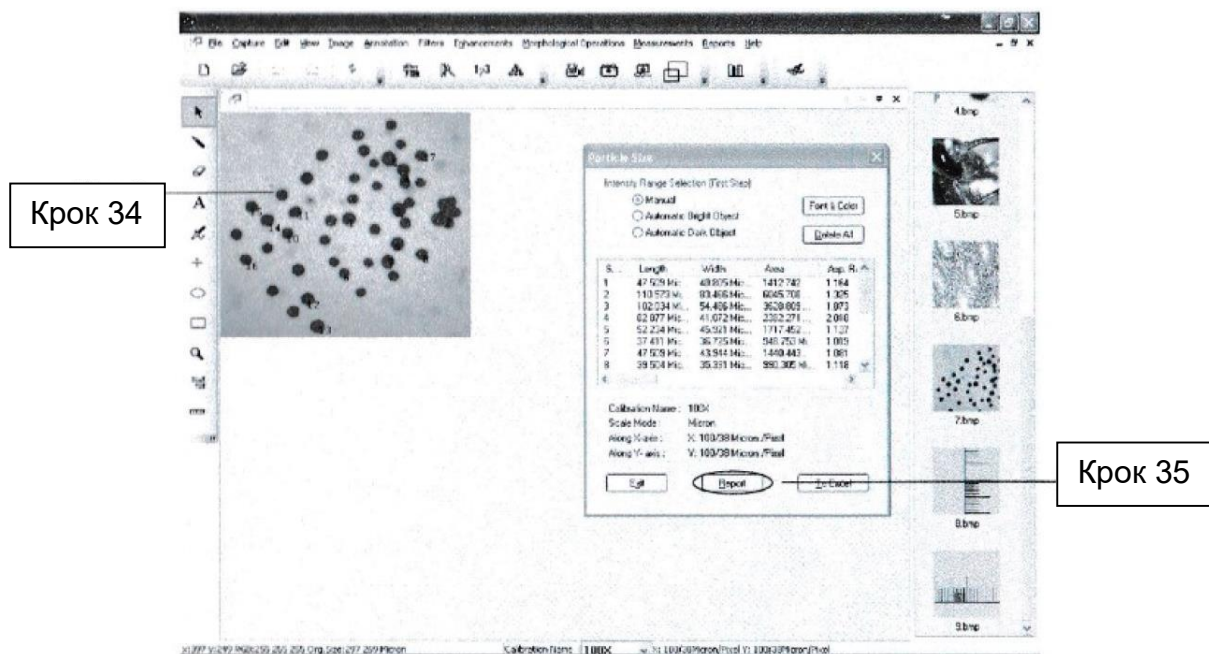


Рис. 39. Кроки 34, 35

Сегментація

Сегментація - це метод поділу зображення на фази залежно від яскравості/відтінку сірого певних його фрагментів. Так як фаза визначається і її площа підраховується на основі поділу по яскравості/відтінку сірого, доступна опція поділу по фазах за допомогою гістограм. Декілька фаз кодуються в псевдокольорі і умовно відображаються на вихідному зображенні. Результати та зображення зберігаються у форматах, що відповідають промисловим стандартам.

Для успішного поділу по фазах рекомендується спочатку застосувати фільтри згладжування, усунення шумів і т.д.

Гістограма створюється для монохромних зображень, як тільки ви відкриваєте модуль сегментації. На осі X відкладаються відтінки від 0 до 255, але в осі Y — кількість пікселів.

Гістограма: Фазовий аналіз дозволяє користувачеві виділяти до 10 порогових діапазонів для поділу матеріалу по фазах та задавати окреме ім'я для кожної фази. Колір між двома лініями позначає псевдокольорові фази.

Інтенсивність: Діапазон яскравості/відтінків сірого для поточної фази відображається у діалоговому вікні.

Зворотня фаза: Ця властивість дозволяє користувачеві дізнатися відсотковий зміст певного діапазону яскравості лише після натискання миші. Усі попередні операції мають бути видалені, а Попередній Перегляд вимкнено.

ПОРЯДОК ДІЙ:

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. На панелі інструментів натисніть кнопку Сегментація або на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
3. Виберіть потрібне калібрування зі списку.
4. Відобразиться масштаб розподілу інтенсивності (гістограма) для поточного зображення.
5. Шкала має одну лінію, яку можна переміщувати. Для цього встановіть курсор на лінії, клацніть лівою кнопкою миші, курсор перетвориться на стрілку. Утримуючи ліву кнопку миші, перемістіть лінію.
6. Натисніть (**Новий**) для другої фази. З'явиться ще одна лінія. Колір другої фази може бути вибраний з палітри кольору або колір буде обраний за замовчуванням.

7. Перемістіть другу лінію так само, як і першу. Повторіть ті самі кроки, щоб створити третю, четверту або більше ліній.
8. Натисніть (**Видалити**), щоб видалити останню фазу.
9. Натисніть (**Скинути**), щоб розпочати все спочатку.
10. Всім фазам можна встановити ім'я, вибравши пункт меню (**Правка**).
11. Результати сегментації відображаються у загальній площі кожної фази та відсоткової площі.
12. Натисніть будь-яку фазу. За потреби введіть нове ім'я фази. Нове ім'я збережеться за замовчуванням до наступної зміни.
13. Щоб отримати результати кожної фази автоматично, клацніть мишкою на відповідній ділянці зображення. Натисніть (**Обрана Фаза**) та отримайте результат.
14. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти дані у вікні звіту.

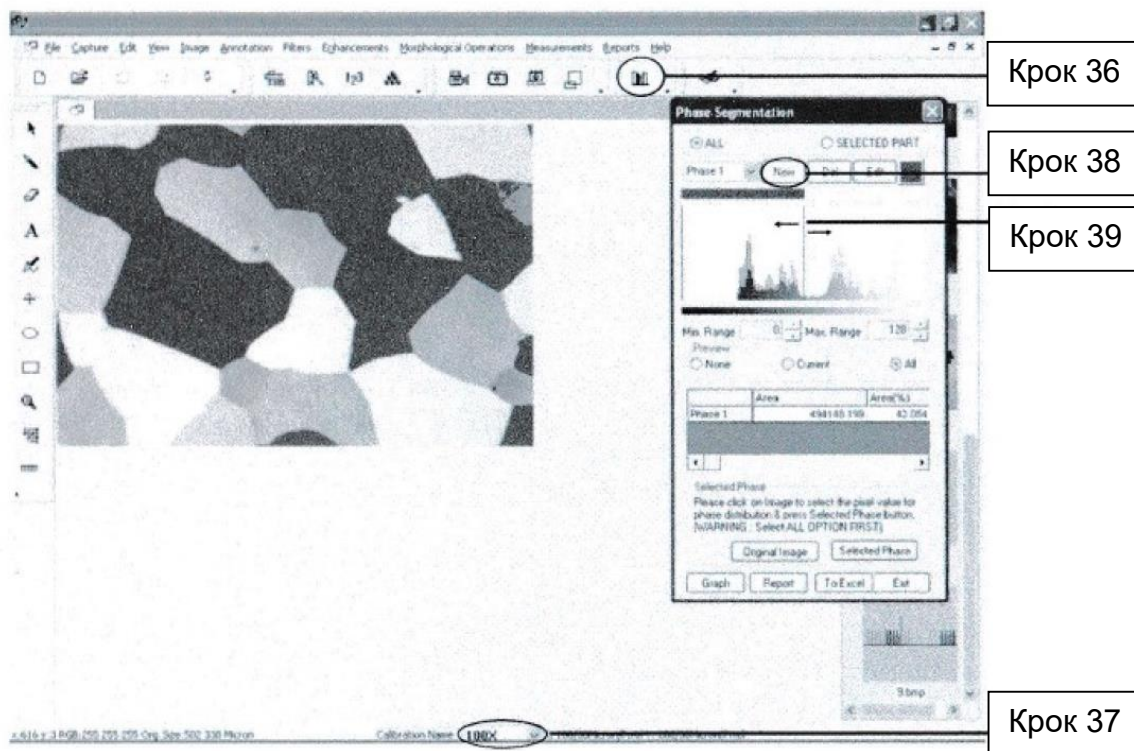


Рис. 40. Кроки 36-39

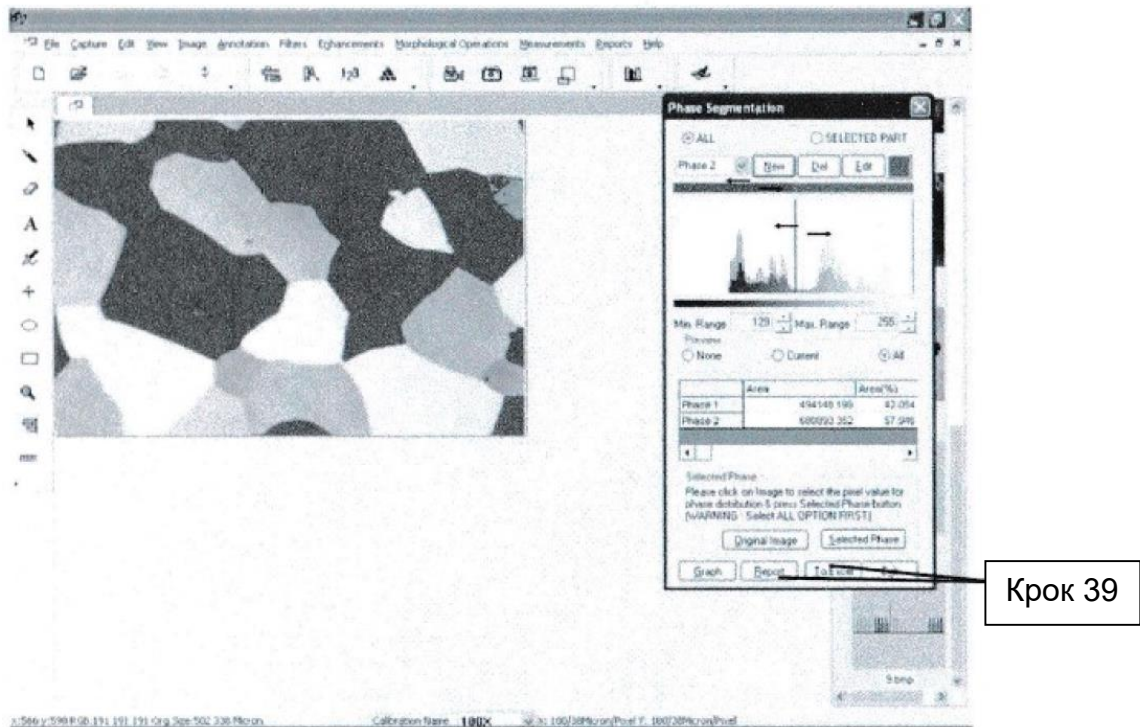


Рис. 41. Крок 39

Порівняння

Цей метод застосовується для повністю рекристалізованих або матеріалів з рівноосними зернами.

Порядок дії

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Клацніть на іконці **Вимірювання Зерен** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**, Виберіть **Порівняння**.
5. Доступні сітки із зернами різного розміру, пронумеровані від 1 до 9.
Покладайте сітки на зображення. Виберіть сітку, розмір зерен, який відповідає розміру зерен зображення. Розмір зерен буде відповідно підрахований. Зауважте, що зображення має мати коефіцієнт збільшення 100%. Якщо коефіцієнт менший чи більше, краще використовувати інший метод.
6. Щоб зберегти оброблене зображення, натисніть (**Звіт**).

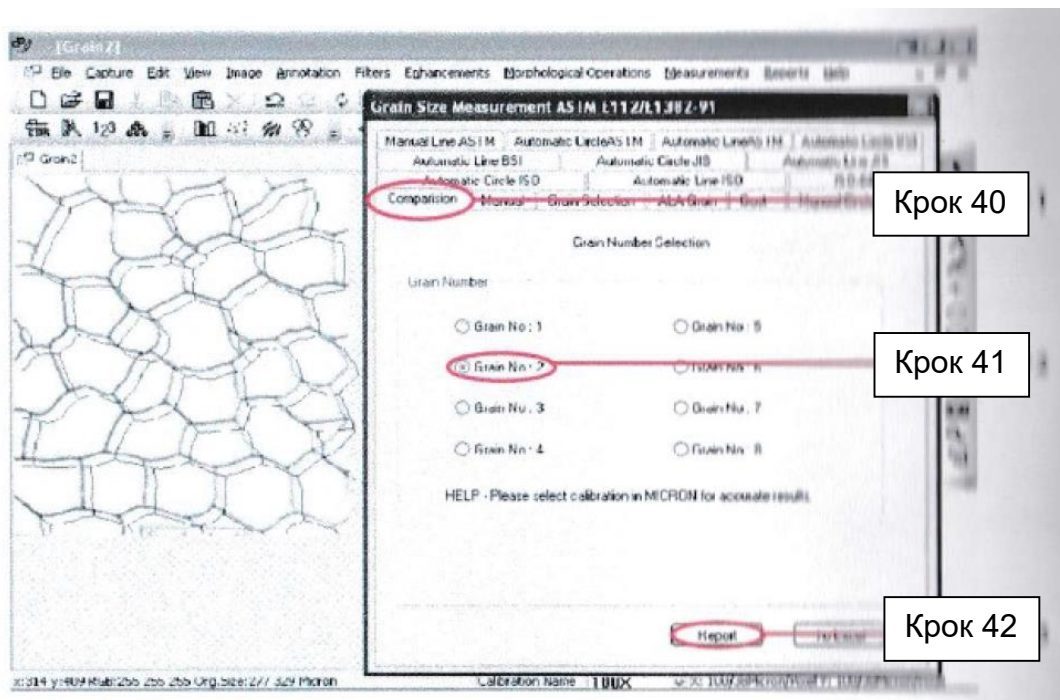


Рис. 42. Крок 40-42

Вручну

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. На панелі інструментів натисніть кнопку **Вимірювання Зерен** або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть **Вручну**.
5. Щоб підрахувати розмір певного зерна, намалюйте лінію за контуром цього зерна за допомогою миші. Як тільки ви відпустите ліву кнопку миші, лінія автоматично зімкнеться, результат буде пед зчитаний та відображений у вікні.
6. Натисніть (Додати), щоб додати ці дані до таблиці.
7. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні Звіту.
8. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
9. Натисніть (**Excel**), щоб переглянути звіт у Excel.

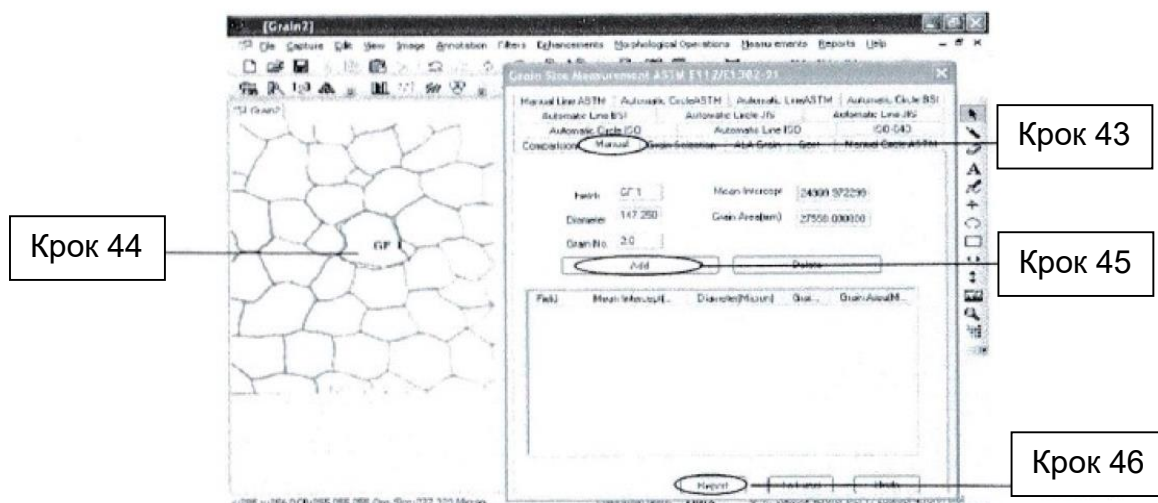


Рис. 43. Кроки 43-46

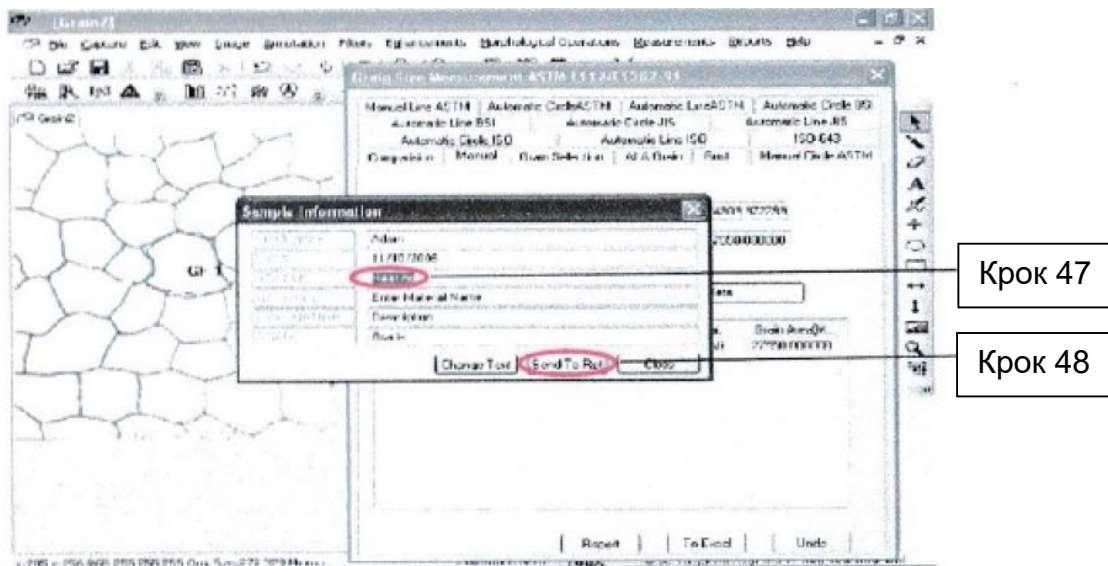


Рис. 44. Кроки 47, 48

Вибір Зерен

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть **Вимірювання Зерен** на панелі інструментів або виберіть відповідний пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть **Вибір Зерен**.
5. Натисніть кнопку **(Встановити Порогову Величину)**. З'явиться нове вікно з двома лінійками прокручування. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть кнопку **(ОК)**.
6. Виберіть зерно, клацнувши лівою кнопкою миші по ньому. Автоматично підраховується розмір зерна, і відповідні дані відображаються у таблиці.
7. Щоб видалити дані з таблиці, клацніть **(Видалити Усі)**. Натисніть **(Скасувати)**, щоб скасувати операцію.
8. Натисніть **(Звіт)**, щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
9. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть **(Надіслати Звіт)**.
10. Натисніть **(Excel)**, щоб переглянути звіт у **Excel**.

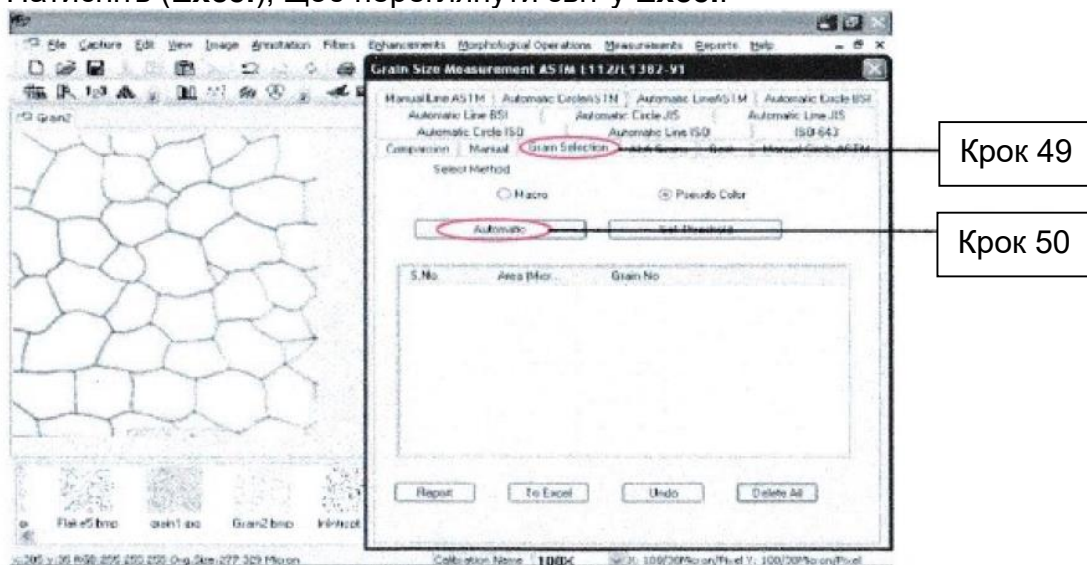


Рис. 45. Кроки 49, 50

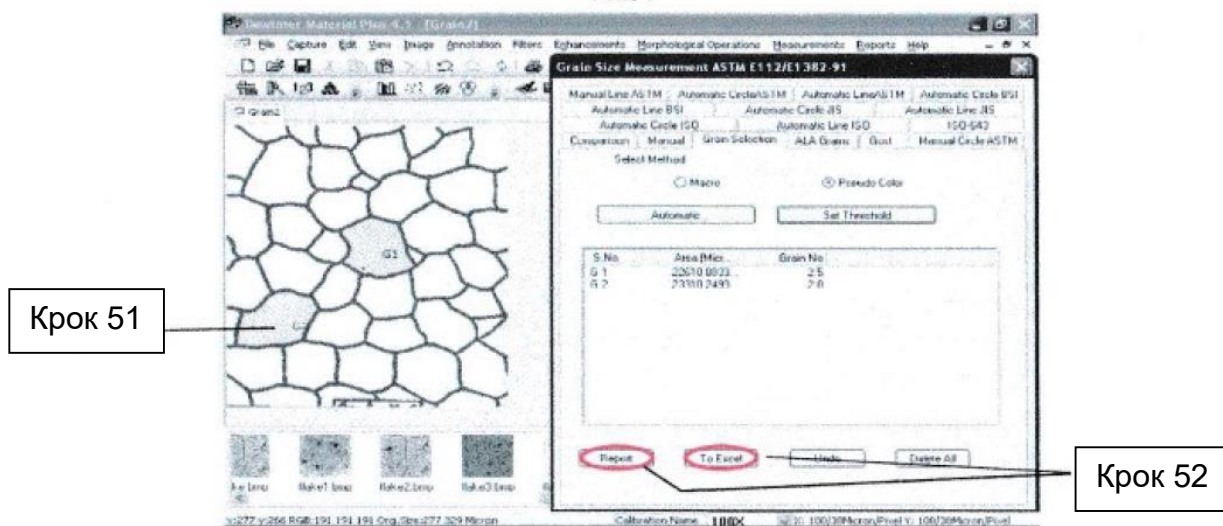


Рис. 46. Кроки 51, 52

Зерна ALA (as large as)

Порядок дій:

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. На панелі інструментів натисніть кнопку **Вимірювання Зерен** або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть метод **Зерна ALA**.
5. Натисніть кнопку **(Встановити Порогову Величину)**. З'явиться нове вікно з двома лінійками прокручування. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть кнопку **(ОК)**.
6. Натисніть **(Виміряти)**. Детальні результати вимірювань кожного зерна з'являться в таблиці. Кожному зерну буде надано різний колір відповідно до розміру зерна. Натисніть **(Дистрибуція кольору)**, щоб відобразити таблицю кольорів.
7. Щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**, натисніть **(Звіт)**.
8. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть **(Надіслати Звіт)**.
9. Натисніть **(Excel)**, щоб переглянути звіт у **Excel**.

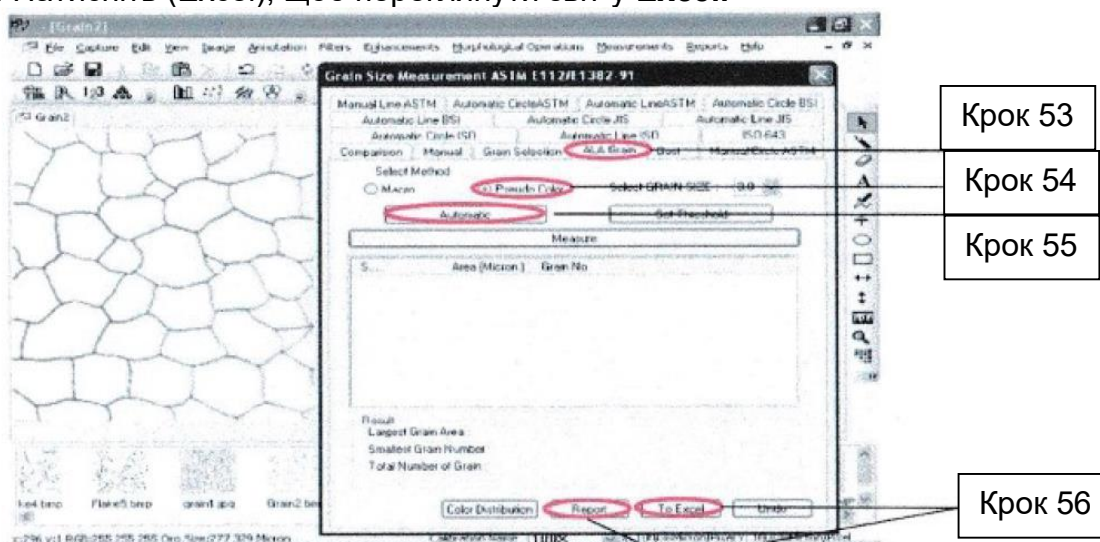


Рис. 47. Кроки 53-56

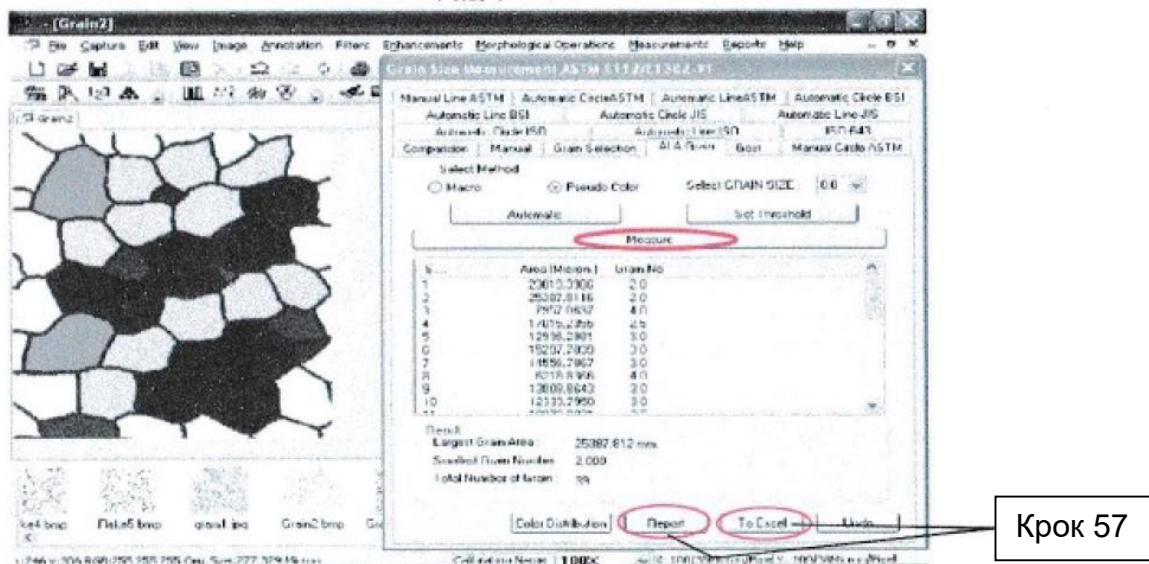


Рис. 48. Крок 57

Окружність Вручну (Стандарт ASTM)

Цей метод ідеально підходить для вимірювання аустенітних зерен у високолегованих сталях, особливо у високолегованих інструментальних сталях.

ASTM рекомендує цей метод для слабо витравлених зразків і для зразків, краї яких темніші або світліші від загального фону. В обох випадках автоматичні методи не рекомендуються.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть на іконку **Вимірювання Зерен** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть **Окружність Вручну (Стандарт ASTM)**.
5. Натисніть (**Встановити граничну величину**). З'явиться нове вікно з двома лінійками прокручування. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть кнопку (**OK**).
6. Натисніть (**Намалювати Коло**), на зображенні з'являться три кола.
7. Натисніть на межі тих зерен, які стосуються кіл. У цих місцях з'являються малі кола.
8. Натисніть (**Застосувати**), як тільки всі точки на межах зерна позначені. Автоматично підраховується та відображається середній розмір зерен.
9. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні Звіту.
10. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
11. Щоб переглянути звіт у **Excel**, натисніть (**Excel**).

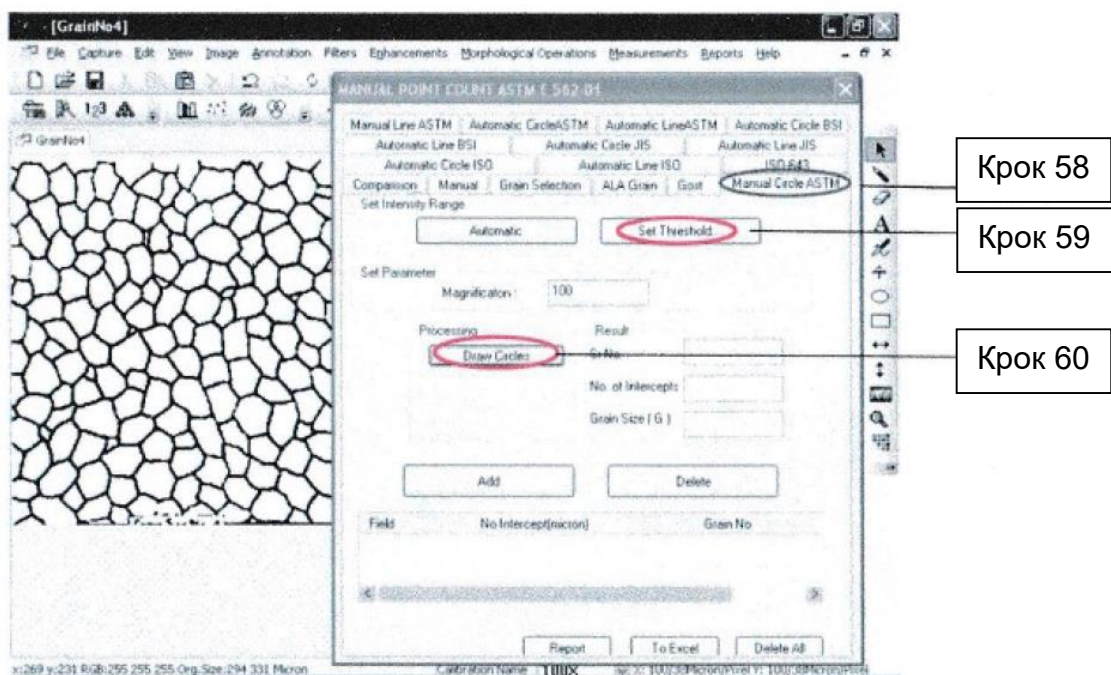


Рис. 49. Кроки 58-60

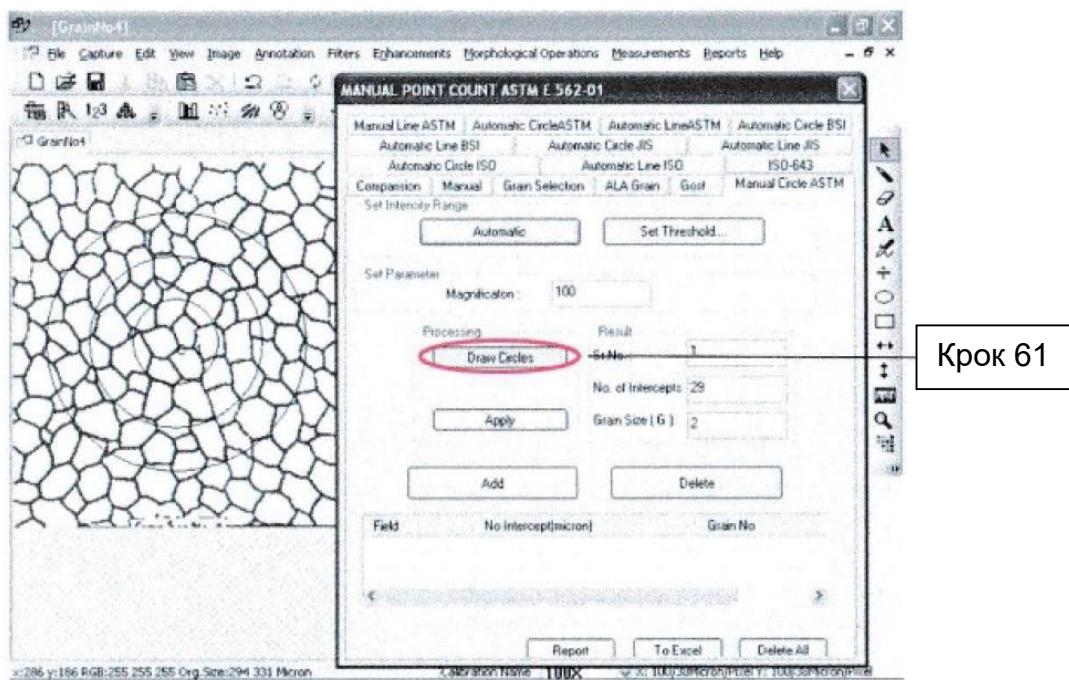


Рис. 50. Крок 61

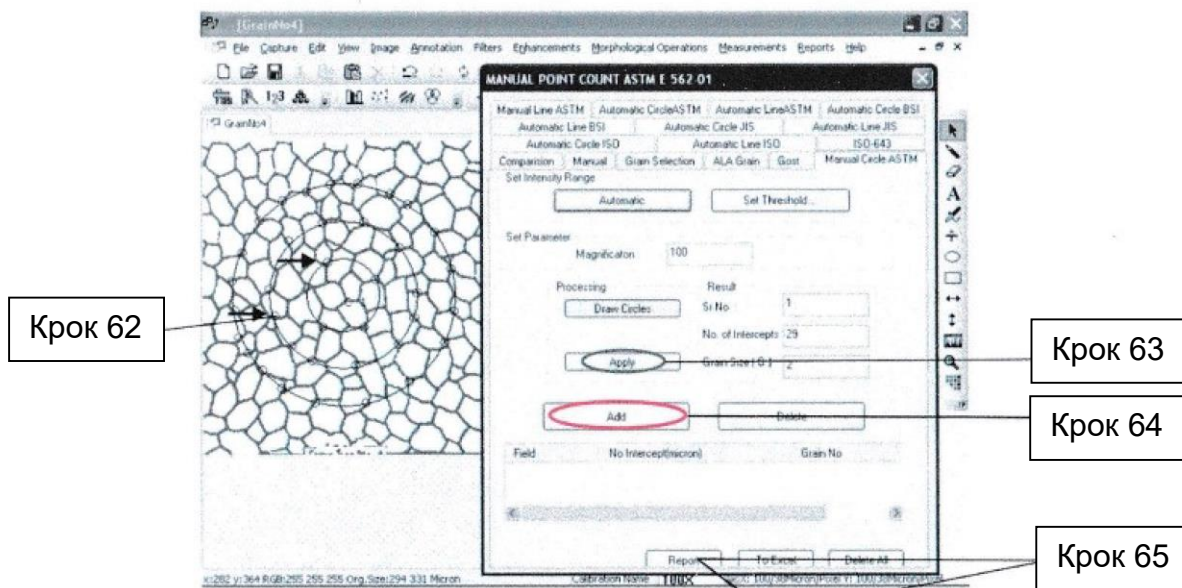


Рис. 51. Кроки 62-65

Лінія Вручну (Стандарт ASTM)

Цей метод вимірювань підходить для слабо витравлених зразків з розмитими межами. Вимірювання на таких зразках не можуть бути виконані за допомогою автоматичних методів.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть на іконці **Вимірювання Зерен** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть **Лінія Вручну (Стандарт ASTM)**.
5. Натисніть (**Встановити Порогову Величину**). З'явиться нове вікно з двома лінійками прокручування. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть кнопку (OK).
6. Натисніть (**Намалювати Відрізки**). На зображенні з'явиться кілька відрізків.
7. Натисніть на межі тих зерен, які стосуються відрізків. У цих місцях з'являються малі кола. Продовжуйте процедуру, доки всі кордони не будуть відзначені.
8. Натисніть (**Виміряти**). Програма автоматично підрахує кількість зазначених точок. Відображається середній розмір зерен.
9. Натисніть (**Додати**) після отримання результатів по одному полю. Якщо потрібно, повторіть процедуру для полів 2, 3 і т.д.
10. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
11. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
12. Щоб переглянути звіт у **Excel**, клацніть (**Excel**).

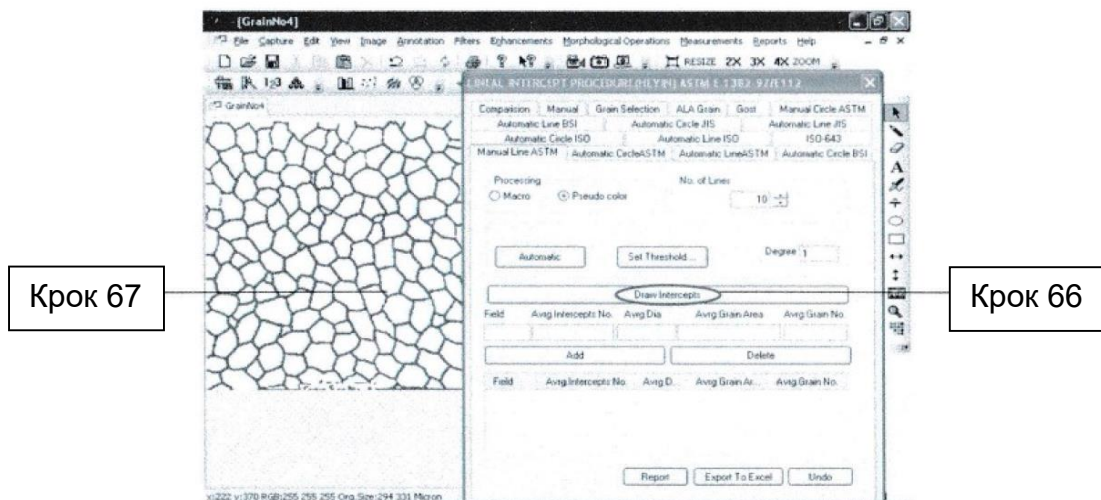


Рис. 52. Кроки 67, 67

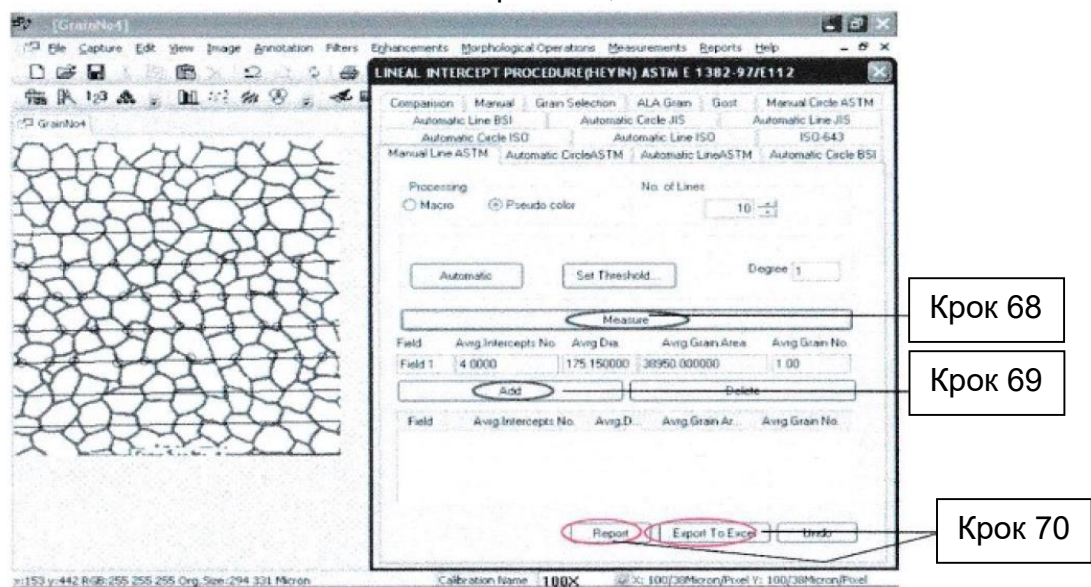


Рис. 53. Кроки 68-70

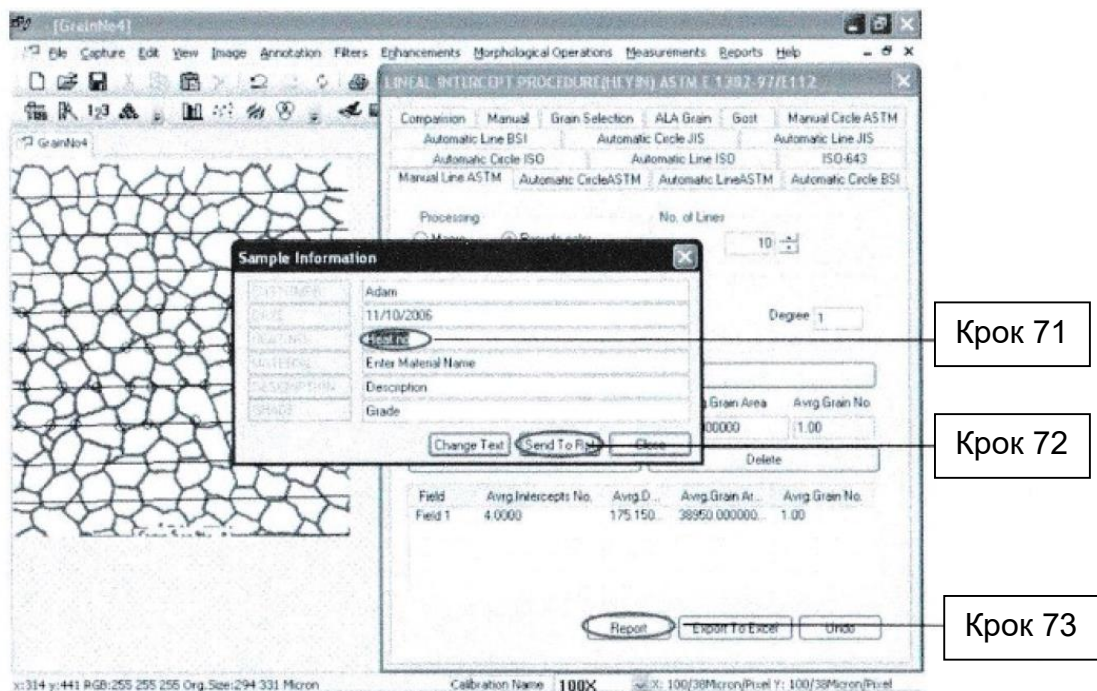


Рис. 54. Кроки 71-73

Автоматична Окружність (Стандарт ASTM)

Цей метод підходить для визначення зерен у деформованих металах або у випадках, коли зерна нерівновісні.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. На панелі інструментів натисніть кнопку **Вимірювання Зерен** або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть метод **Автоматична Кількість (Стандарт ASTM)**.
5. Натисніть (**Встановити Порогову Величину**). З'явиться нове вікно з двома лініями прокручування. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть (**ОК**).
6. Натисніть (**Намалювати Відрізки**). Відповідно до обраного калібрування буде намальовано три кола різного радіусу (відповідно до стандарту ASTM). Програма автоматично підраховує включені зерна та відображає результат.
7. Натисніть (**Додати**), щоб перемістити результати до таблиці.
8. Щоб видалити всі попередні операції, натисніть (**Видалити Все**).
9. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
10. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
11. Щоб переглянути звіт у **Excel**, клацніть (**Excel**).

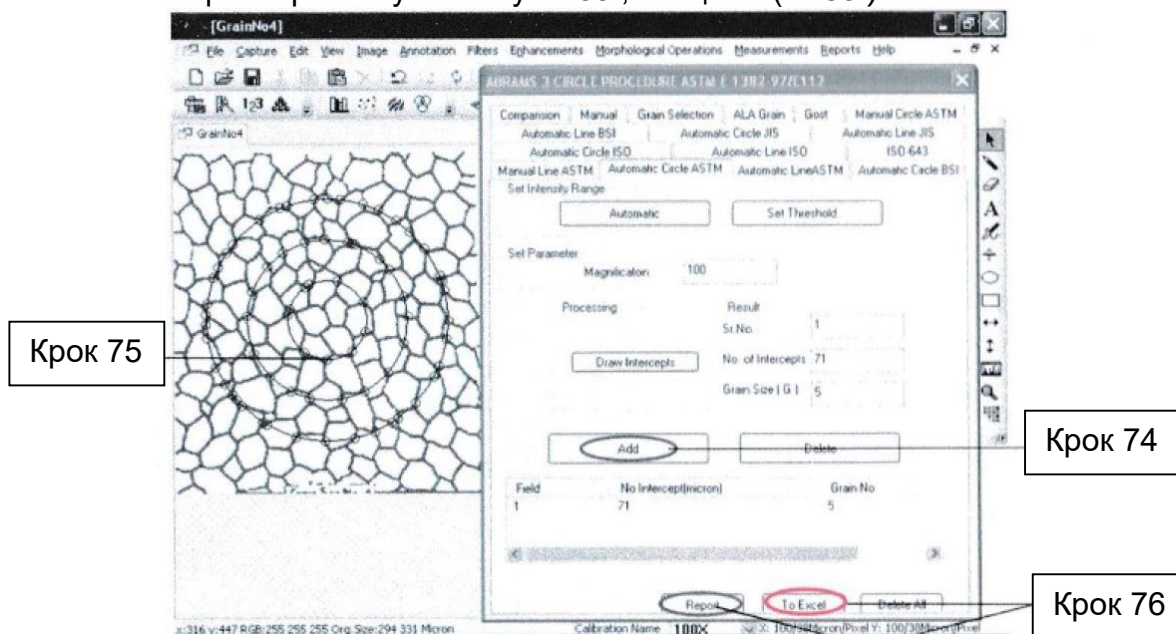


Рис. 55. Кроки 74-76

Автоматична Лінія (Стандарт ASTM)

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. На панелі інструментів натисніть кнопку **Вимірювання Зерен** або виберіть пункт меню.
4. Відкриється вікно **Вимірювання Зерен**. Виберіть **Автоматична Лінія (Стандарт ASTM)**.
5. Натисніть (**Встановити Порогову Величину**). З'явиться нове вікно з двома прокрутками. Переміщуйте їх, доки всі зерна не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть [**ОК**].

6. Натисніть (**Виміряти**). Автоматично буде намальовано кілька ліній. Програма автоматично робить підрахунок.
7. Кількість ліній можна змінити на вкладці Кількість ліній.
8. Кут ліній таюже можна змінити від 1 до 90 градусів. Це може бути необхідним для подовжених зерен.
9. Натисніть (**Додати**), щоб перемістити результати до таблиці.
10. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
11. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
12. Щоб переглянути звіт у **Excel**, натисніть (**Excel**).

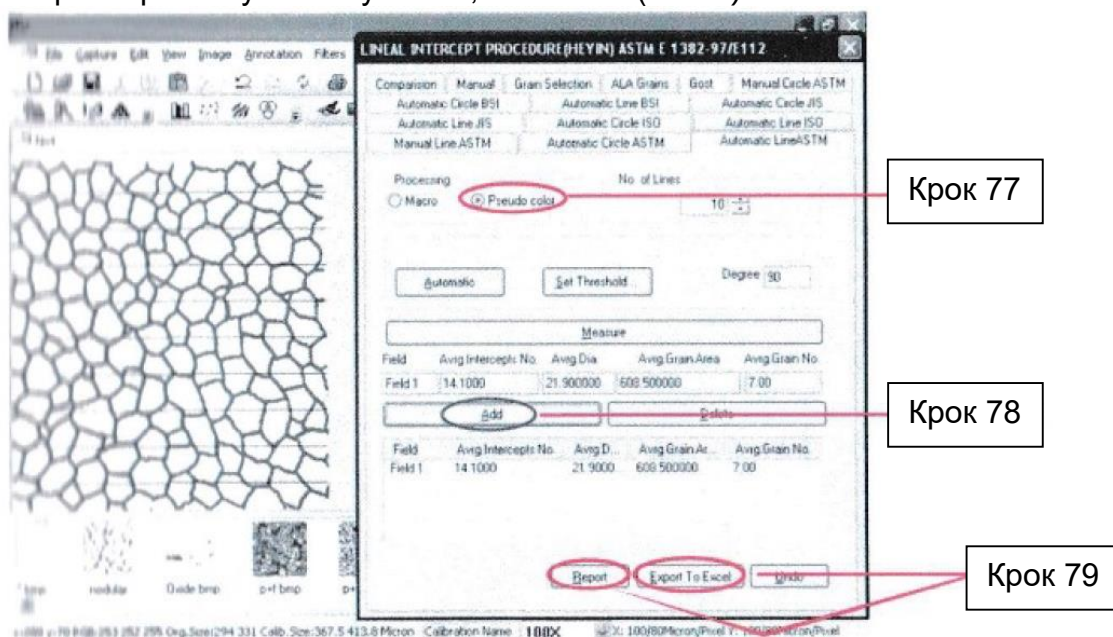


Рис. 56. Кроки 77-79

Декарбонізація

За допомогою цього модуля можна виміряти глибину та ширину декарбонізації (знекарбонізації). Це може статися, наприклад, при вигорінні вуглецю з поверхні сталі при тепловій обробці. Оскільки обезуглероженный спой впливає властивості продукту, аналіз цього параметра дуже важливий.

У порівнянні з традиційними ручними технологіями вимірювання, цей метод є більш продуктивним. Результати відповідають стандарту АЗТМ Е1077.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. На панелі інструментів натисніть кнопку **Декарбонізація** або виберіть пункт меню.
4. Виберіть закладку 1) **Повна Декарбонізація** 2) **Часткова Декарбонізація** 3) **Загальна Декарбонізація** відповідно до ваших вимог.
5. Активуйте **Часткова Декарбонізація**. Утримуючи ліву кнопку миші, проведіть лінію від початкової до кінцевої точки ділянки, схильної до декарбонізації.
6. Активуйте **Повна Декарбонізація**. Утримуючи ліву кнопку миші, проведіть лінію від початкової до кінцевої точки ділянки, схильного до декарбонізації. Блакитним кольором буде виділено ширину часткової декарбонізації, червоним - повної декарбонізації.
7. Натисніть **Загальна декарбонізація**. У вікні відобразяться результати повної та часткової декарбонізації для поля 1.
8. Повторіть кроки 5-7 для інших полів.

9. Якщо вам потрібні результати тільки після повної декарбонізації, активуйте закладку **Повна декарбонізація**.
10. Намалюйте одну або кілька ліній на шарі з повною декарбонізацією.
11. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
12. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
13. Натисніть (**Excel**), щоб переглянути звіт у **Excel**.

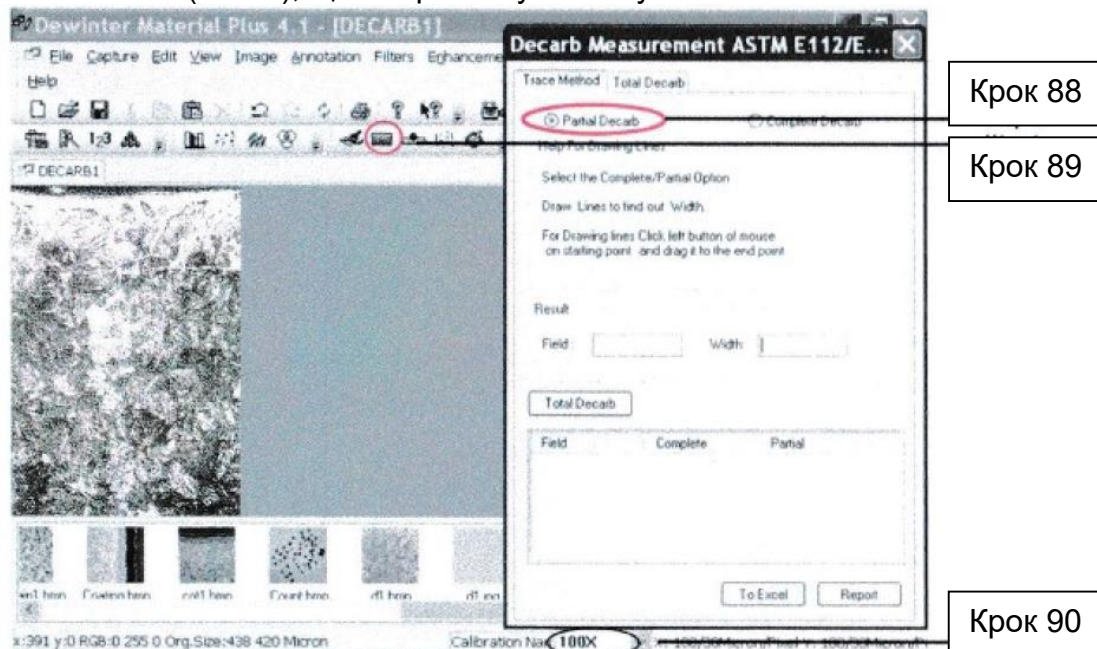


Рис. 57. Кроки 88-90

Кулястість Включень

Цей модуль призначений для аналізу кулястих включень графіту в чавуні. Кулясті включення відокремлюються від не кулястих включень на основі їх форми. Кулясті включення забарвлюються в синій колір, не кулясті включення - в червоний. У звіт виводиться: Форма кулястих включень (позначається римськими цифрами від I до VI), Розмір кулястих включень (позначається арабськими цифрами від 1 до 8), Кількість кулястих включень на мм².

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть на **Кулястість**. Увімкень на панелі інструментів або виберіть відповідний пункт меню.
4. Натисніть (**Аналіз**). З'явиться діалогове вікно Ліміт Округлості. Програма автоматично визначає і забарвлює кулясті включення в синій колір, а не кулясті включення в червоний. Якщо результат визначення незадовільний, переміщуйте лінійки прокручування, змінюючи діапазон кулястості. Натисніть (**ОК**), коли визначено всі кулясті включення.
5. Натисніть (**Додати**), щоб додати результати вимірювання для поля 1 до таблиці. Повторіть процедуру для полів 2, 3 і т.д.
6. Щоб продивитись вимірювання у графічній формі, виберіть графіки (**Кулястість Увімкень**), (**Діаметр (1-8)**), (**Форма (I-VI)**).
7. Натисніть (**Діапазон**), щоб переглянути діапазон.
8. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
9. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
10. Щоб переглянути звіт у **Excel**, клацніть (**Excel**).

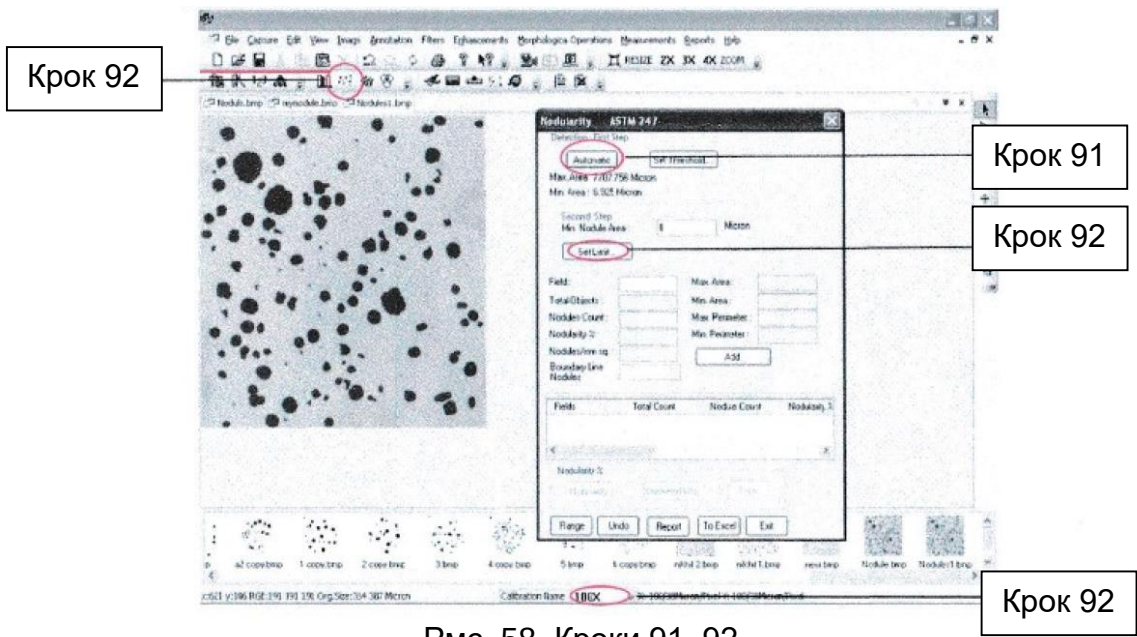


Рис. 58. Кроки 91, 92

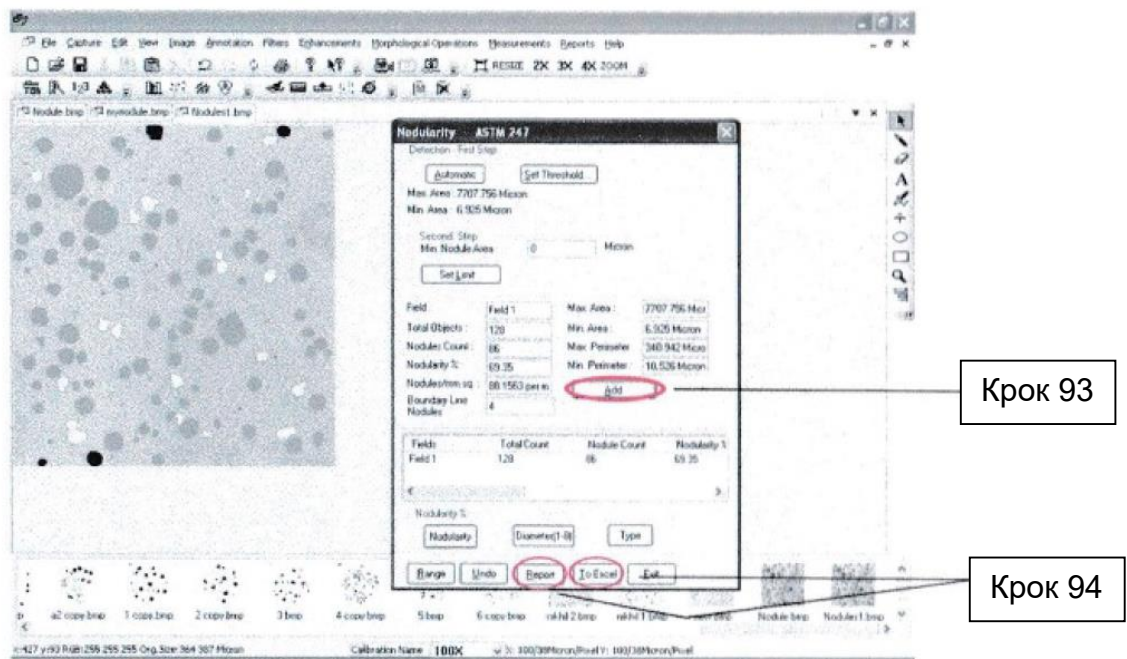


Рис. 59. Крок 93, 94

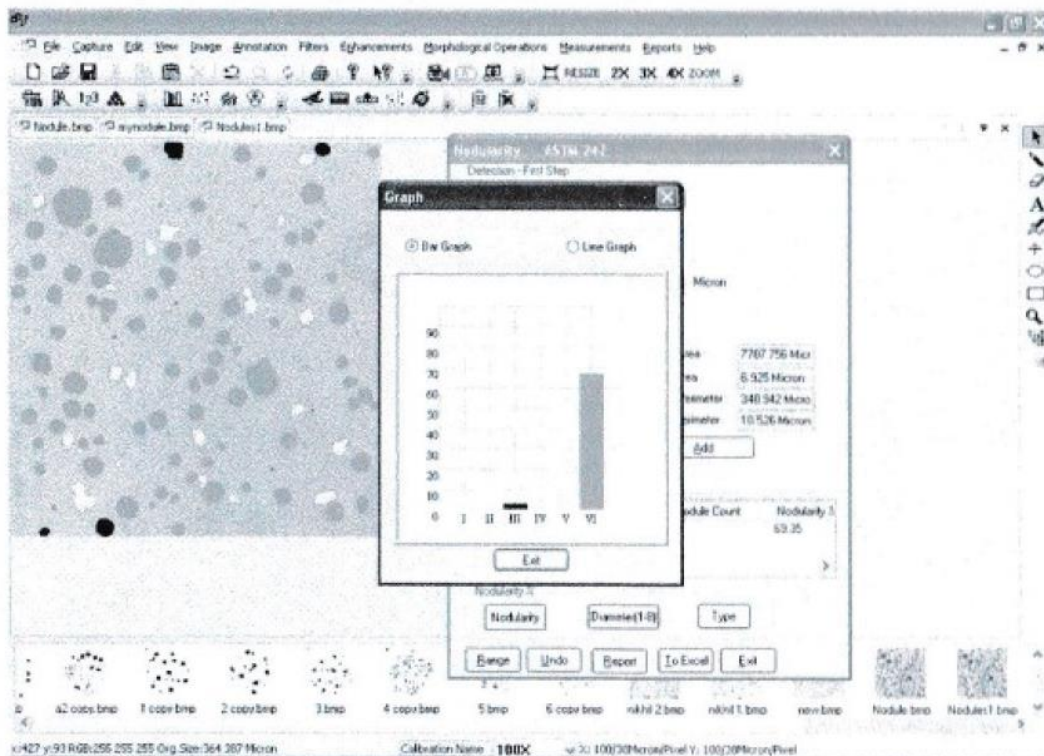


Рис. 60. Завершення вимірювання

Пластівці

Цей модуль дозволяє виміряти довжину, ширину, дистрибуцію та відсоток пластівців графіту відповідно до стандарту ASTM A-247-67.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть іконку **Пластівці** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Доступні три опції для визначення пластівців графіту: (**Вручну**); (**Автоматично Темні Об'єкти**); (**Автоматично Яскраві Об'єкти**).
5. Опції **Автоматично Яскраві Об'єкти** та **Автоматично Темні Об'єкти** визначають пластівці на основі попередньо встановленого діапазону інтенсивності. Якщо після вибору цих опцій не всі пластівці пофарбовані в червоний колір, виберіть опцію **Вручну**. З'явиться нове вікно з двома лінійками прокручування. Переміщуйте лінійки, доки всі пластівці не будуть пофарбовані. Натисніть **ОК**.
6. Встановивши діапазон інтенсивності, натисніть (**Виміряти**). Результати вимірювань відображаються у таблиці.
7. Щоб отримати аналіз за типом пластівців, виберіть (**Автоматично**) з частини вікна Тип пластівців. Буде відображено відсоток пластівців типу **A, B, C, D, E** і **Комбінований**.
8. Щоб зберегти звіт у Вікно Звіту, клацніть на (**Звіт**).
9. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
10. Натисніть (**Excel**), щоб переглянути звіт у **Excel**.

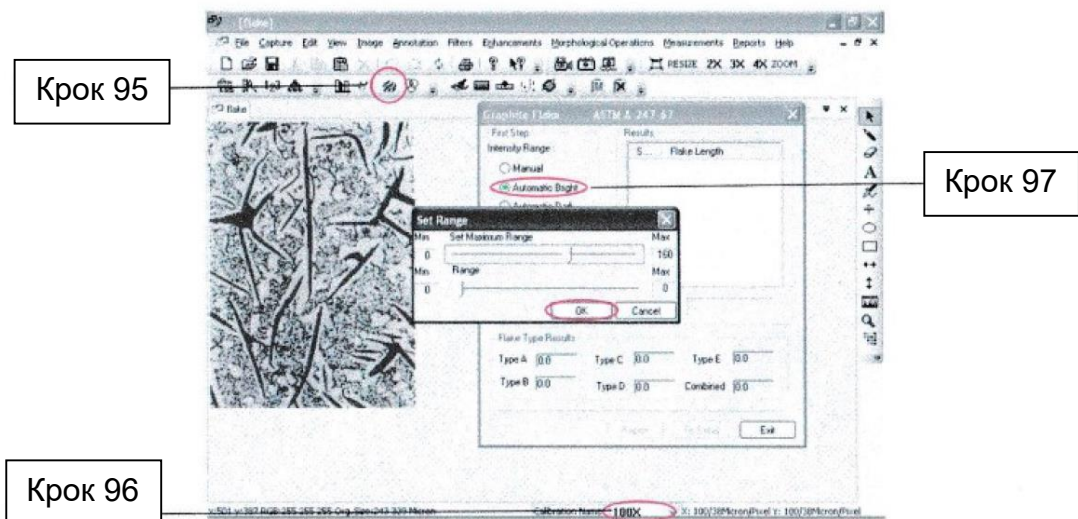


Рис. 61. Кроки 95-97

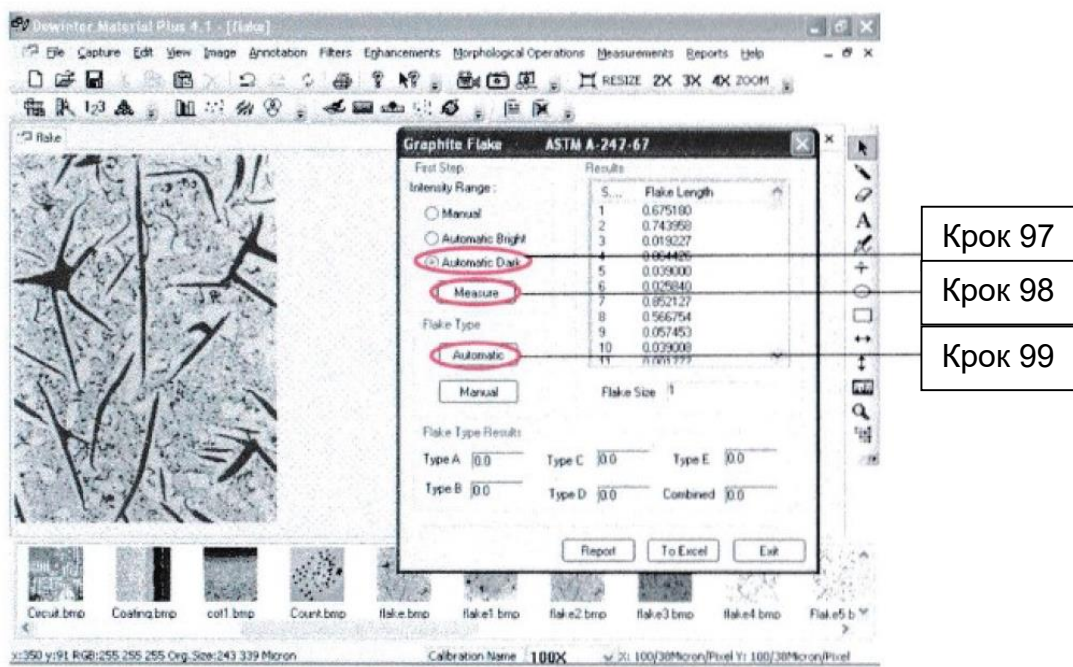


Рис. 62. Кроки 97-99

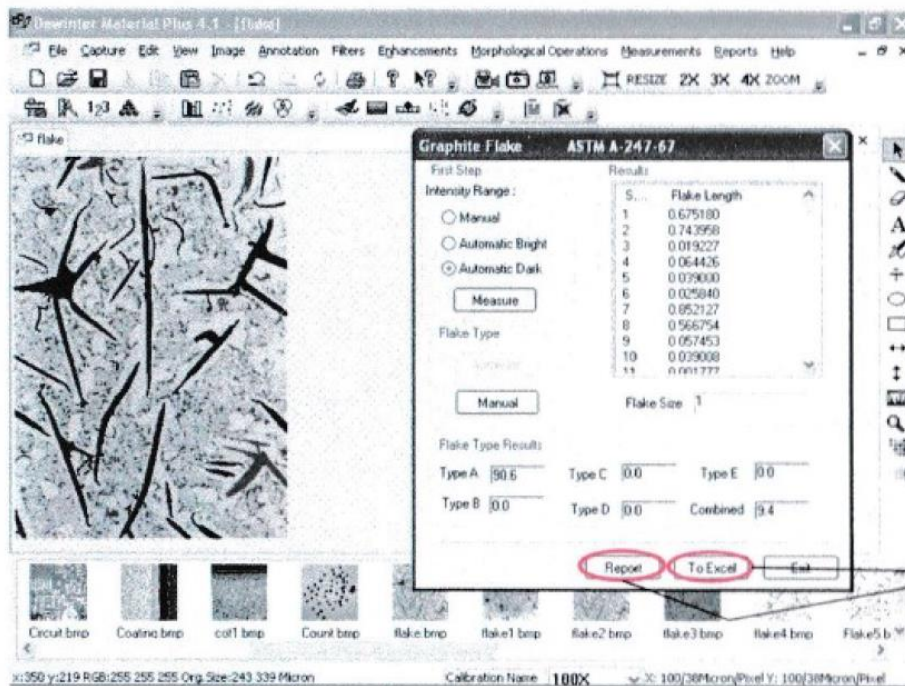


Рис. 63. Крок 100

Товщина покриття

Метод псевдоквіт

Ця програма швидко вимірює товщину або ширину оболонки зразка в різних позиціях. У порівнянні з традиційними ручними технологіями цей модуль значно збільшує продуктивність. Ця програма видає результати різних вимірювань у таблицях. Показує детальні результати, зокрема середню, мінімальну та максимальну товщину.

Визначення: різні шари визначаються основі заданої порогової величини. Вертикальні/горизонтальні лінії вибираються на основі розташування зображення. Декілька ліній автоматично наносяться на покриття. Опції вимірювання доступні у вкладці **Вимірювання**.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть **Товщина Покриття** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкрийте закладку **Псевдокольор**.
5. Виберіть горизонтальні/вертикальні лінії відповідно до розташування зображення.
6. Натисніть (**Вибрати**).
7. З'явиться діалогове вікно **Встановити Діапазон** із двома курсорами. Пересувайте їх, доки бажана товщина не буде забарвлена псевдокольором.
8. Натисніть (**ОК**). Буде відображено товщину вибраної області.
9. Натисніть (**Додати**), щоб додати результат до таблиці даних.
10. Якщо потрібно виміряти ще один шар на цьому ж зображенні та додати дані до таблиці, повторіть кроки 6-9.
11. Щоб видалити результат вимірювання з таблиці, натисніть (**Видалити**); Щоб видалити всі дані, натисніть (**Видалити все**).
12. Щоб скасувати вимірювання, натисніть (**Скасувати**).
13. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні Звіту.
14. Натисніть (**Excel**), щоб переглянути звіт у **Excel**.

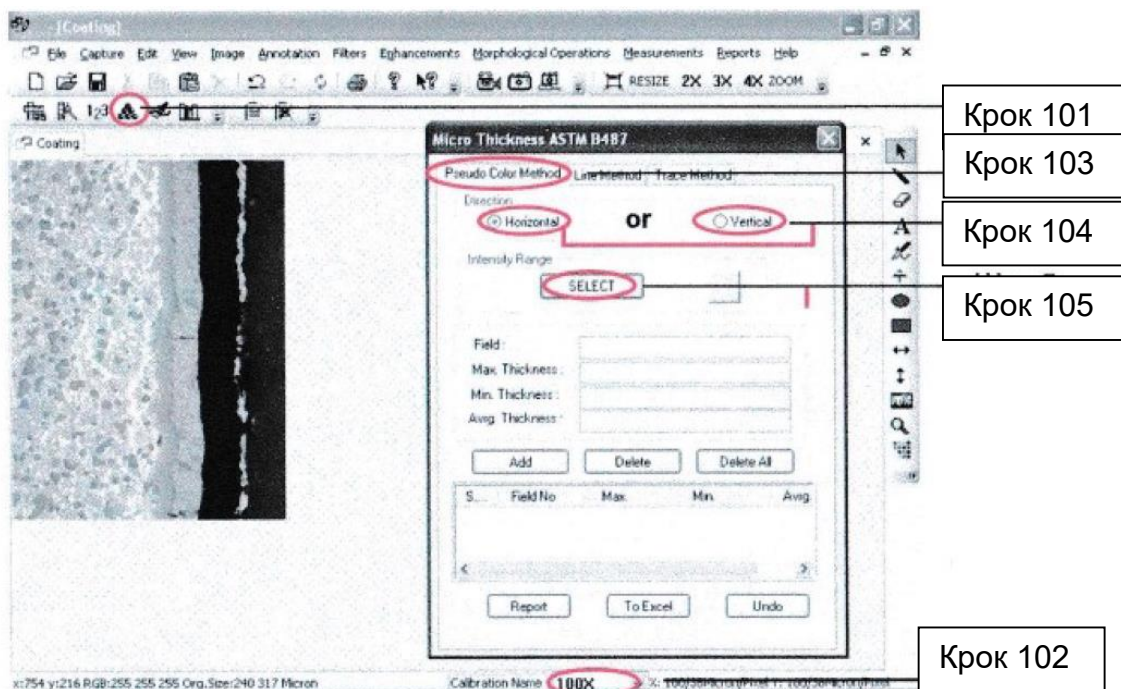


Рис. 64. Кроки 101-105

Товщина покриття

Метод паралельних ліній

Цей метод використовується для вимірювання товщини шару, який важко відокремити від інших шарів або фону, ґрунтуючись на його яскравості/відтінку сірого. Дві прямі лінії розміщуються на краю такого шару. Результати вимірювання є приблизними.

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть **Товщина Покриття** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкрийте пункт **Лінії** у діалоговому вікні.
5. Натисніть (**Вибрати**).
6. З'явиться нове діалогове вікно із двома курсорами. На зображенні з'являться дві лінії. Розмістіть одну лінію на верхній межі шару, а другу на нижній межі за допомогою курсорів.
7. Натисніть (**ОК**).
8. Буде відображена товщина шару,
9. Натисніть (**Додати**), щоб перемістити результати до таблиці.
10. Якщо потрібно виміряти товщину ще кількох шарів, повторіть кроки 4-9 для кожного з них.
11. Щоб видалити результат вимірювання з таблиці, натисніть (**Видалити**); щоб видалити всі дані, натисніть (**Видалити все**).
12. Щоб скасувати вимірювання, натисніть (**Відмінити**).
13. Щоб зберегти звіт у вікні Звіту, натисніть (**Звіт**).
14. Щоб переглянути звіт у **Excel**, клацніть (**Excel**).

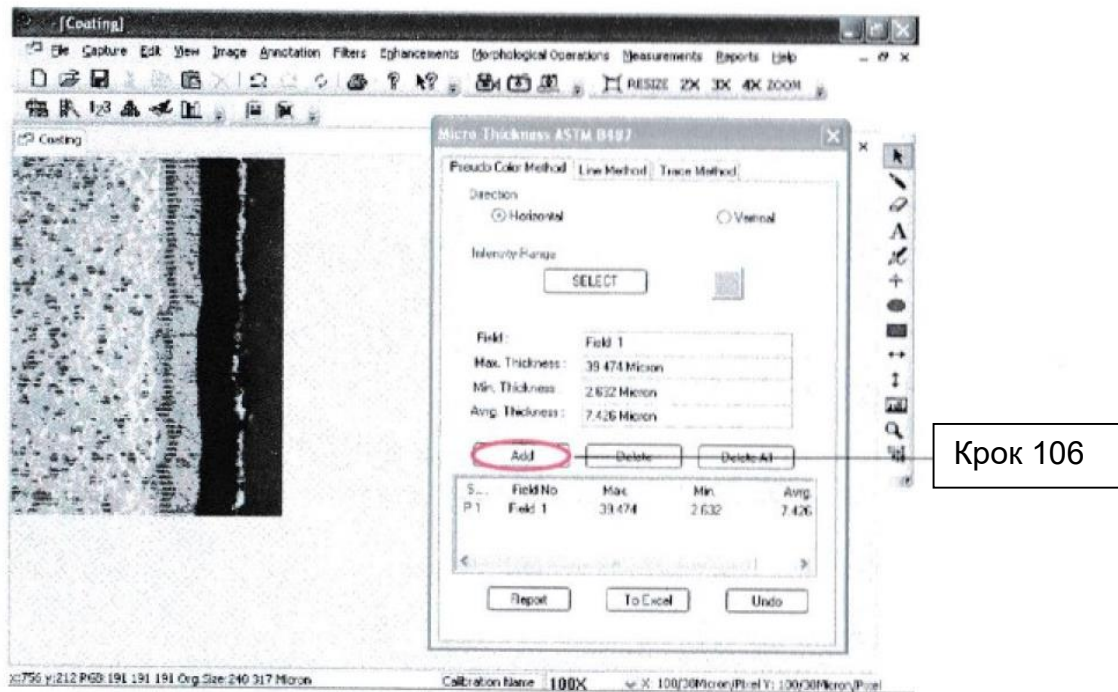


Рис. 65. Крок 106

Товщина покриття

Метод Контури за допомогою миші

Більш точний метод вимірювання товщини шару, який важко відокремити від інших шарів або фону, ґрунтуючись на його яскравості/відтінку сірого

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть **Товщина Покриття** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Відкрийте пункт **Контури** у діалоговому вікні.
5. Активуйте копію (**При Допомозі Миші**).
6. Натисніть (**Намалювати Контури**).
7. Відобразиться нове діалогове вікно з інструкціями. Не натискайте (**Скасувати**).
8. Клацніть лівою кнопкою миші в початковій точці верхньої межі шару та, утримуючи кнопку натиснутою, проведіть контур до кінцевої точки верхньої межі шару.
9. Клацніть лівою кнопкою миші в початковій точці нижньої межі шару та, утримуючи кнопку натиснутою, проведіть контур до кінцевої точки нижньої межі шару. Як тільки буде намальовано другий контур, автоматично з'являться результати.
10. Натисніть (**Додати**), щоб перемістити результати вимірювання до таблиці.
11. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти вимірювання у вікні звітів.
12. Якщо потрібно виміряти товщину ще кількох шарів, повторіть кроки 5-9 для кожного з них.
13. Щоб видалити результат вимірювання з таблиці, натисніть (**Видалити**); Щоб видалити всі дані, натисніть (**Видалити Всі**).
14. Щоб скасувати вимірювання, натисніть кнопку (**Скасувати**).
15. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
16. Щоб переглянути звіт у **Excel**, натисніть (**Excel**).

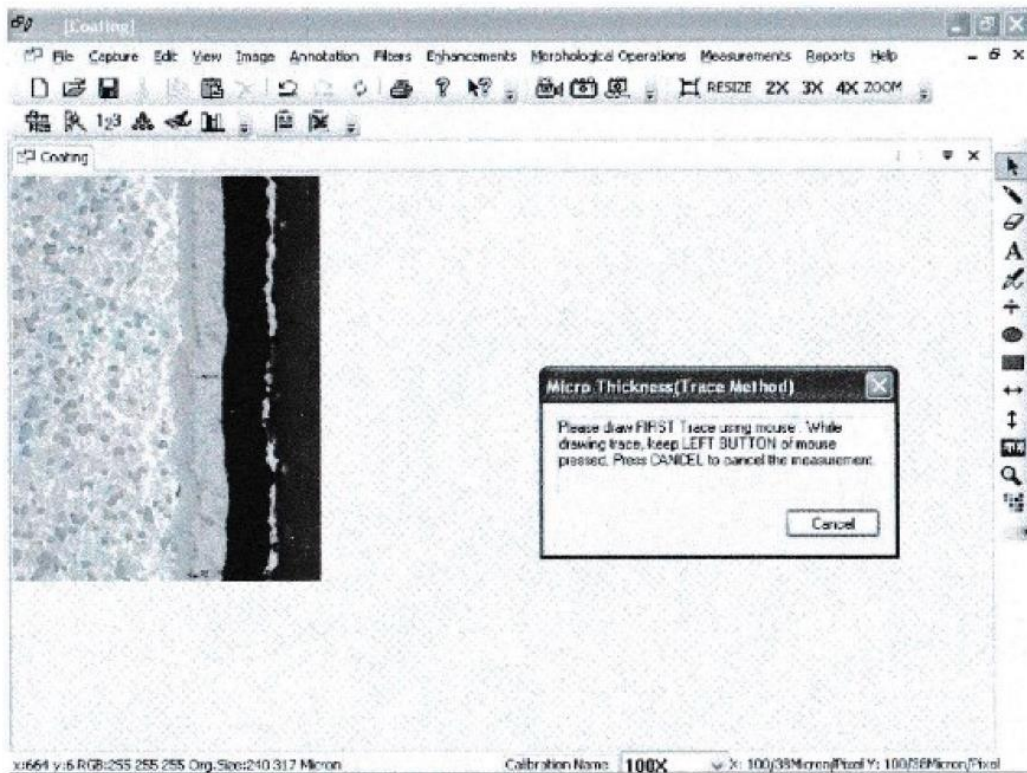


Рис. 66. Завершення вимірювання

Включення

За допомогою цього програмного забезпечення користувач може визначити 4 типи включень:

- * Включення сульфідів (тип А)
- * Включення оксиду алюмінію (тип В)
- * Включення силікату (тип С)
- * Глобулярні включення (тип О)

Кожен тип поділяється на тонкий і важкий, залежно від параметрів ширини.

Порядок дій:

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Клацніть на іконці **Увімкнення** на панелі інструментів» або виберіть пункт меню.
4. Натисніть (**Встановити Порогову Величину**). З'явиться нове вікно. Переміщуйте лінії, щоб встановити мінімальну та максимальну межі діапазону. Натисніть кнопку **ОК**
5. Натисніть (**Показати Результат**), щоб результат відобразився в таблиці.
6. Якщо результат вимірювань задовільний, натисніть (**Звіт**), щоб перемістити його у вікно **Звіту**. В іншому випадку повторіть пункт 4 знову.
7. Після натискання кнопки **Звіт** з'явиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
8. Щоб переглянути звіт у **Excel**, клацніть (**Excel**).

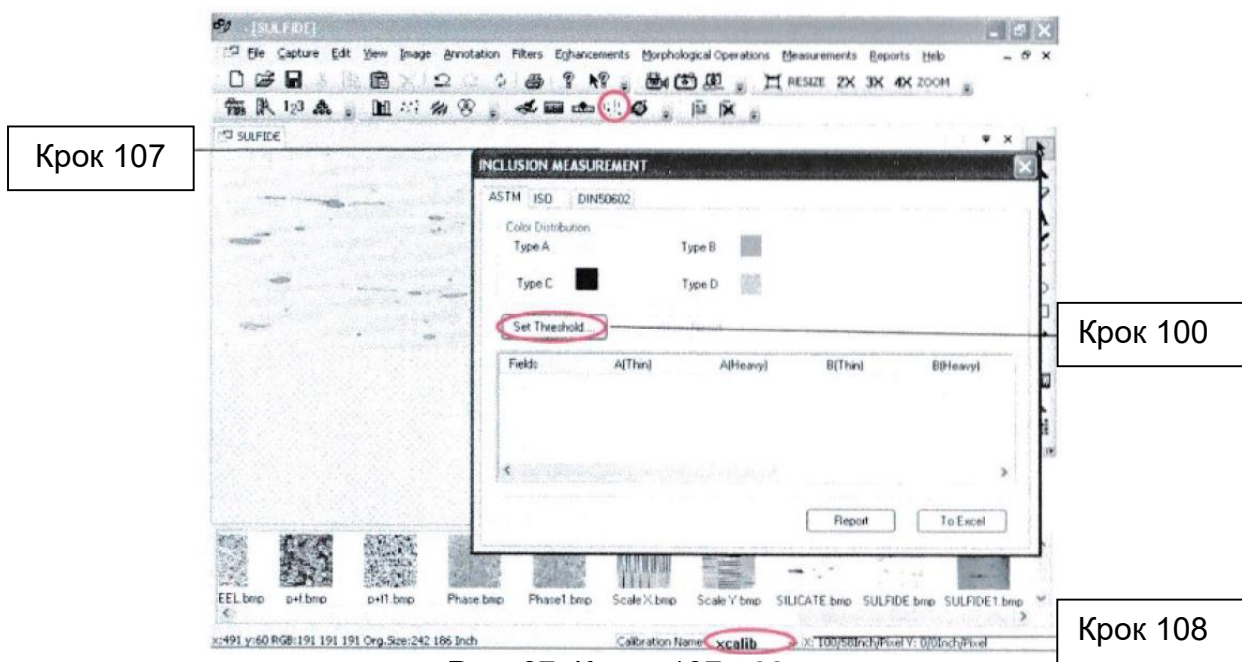


Рис. 67. Кроки 107-109

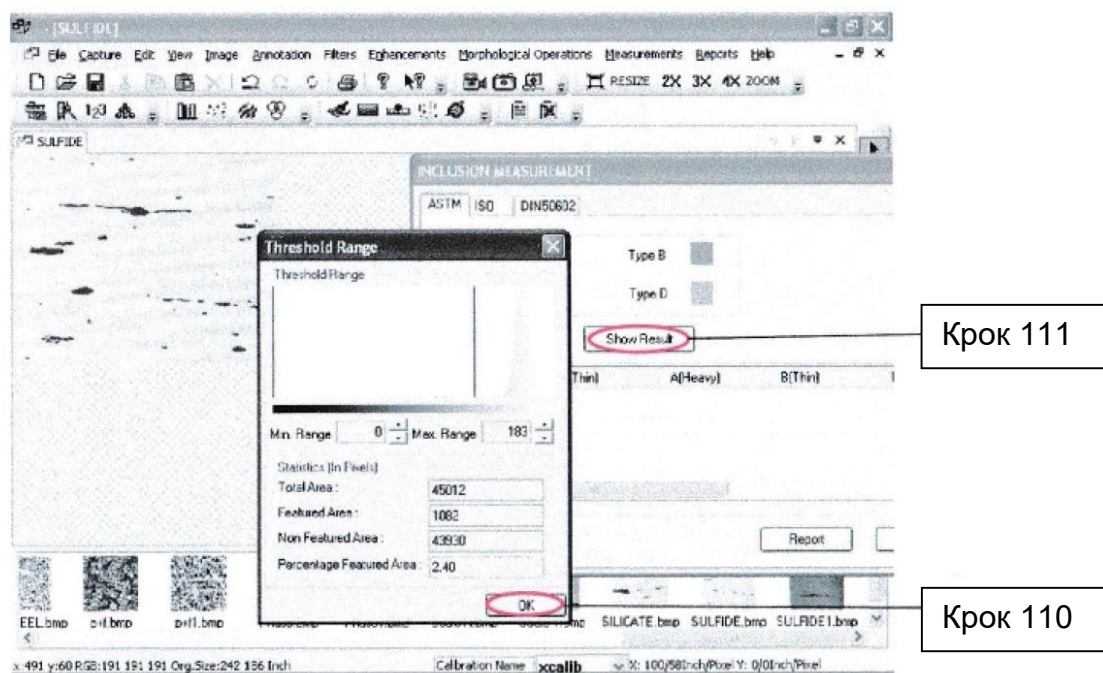


Рис.68. Кроки 110-111

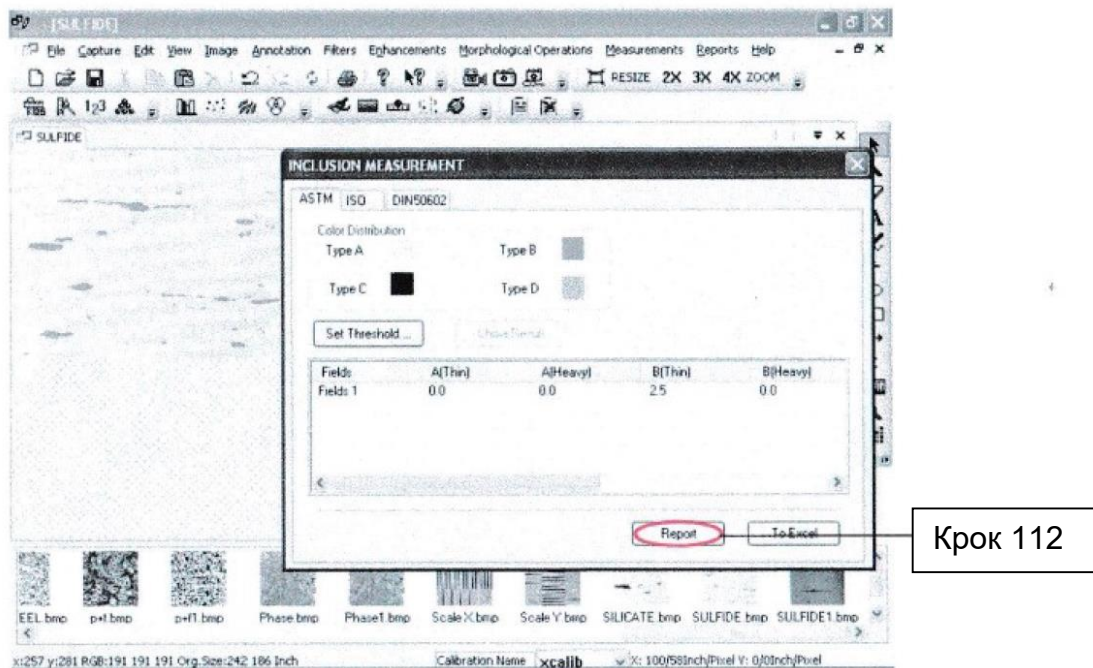


Рис. 69. Крок 112

Тріщини

Порядок дій

1. Завантажте зображення для аналізу.
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть на іконку **Вимірювання зерен** на панелі інструментів або виберіть пункт меню.
4. Виберіть **Коло** або **Квадрат** із опції **Вимірювання**
5. Виберіть (**Автоматично**), якщо бажаєте, щоб програма встановила діапазон інтенсивності, Виберіть (**Встановити Порогову Величину**), щоб встановити діапазон інтенсивності самостійно. І тут з'явиться нове вікно. Переміщуйте лінії, щоб встановити діапазон. Натисніть (**ОК**).
6. Натисніть на зображенні. На зображенні з'явиться коло або квадрат (залежно від обраної раніше опції вимірювання).
7. Натисніть (**Додати**), щоб додати результати вимірювання до таблиці.
8. За потреби клацніть на зображенні ще раз. З'явиться ще одне коло або один квадрат (залежно від обраної раніше опції вимірювань). Натисніть кнопку (**Додати**), щоб результати вимірювань для другої площі з'явилися в таблиці.
9. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні звіту.

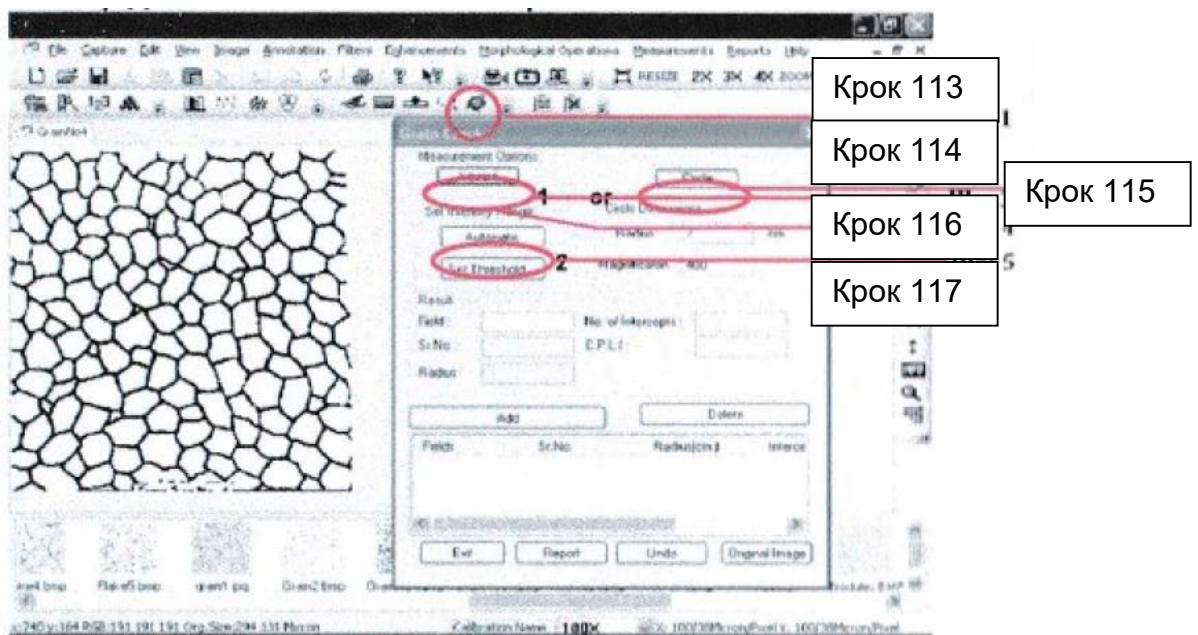


Рис. 70. Кроки 113-117

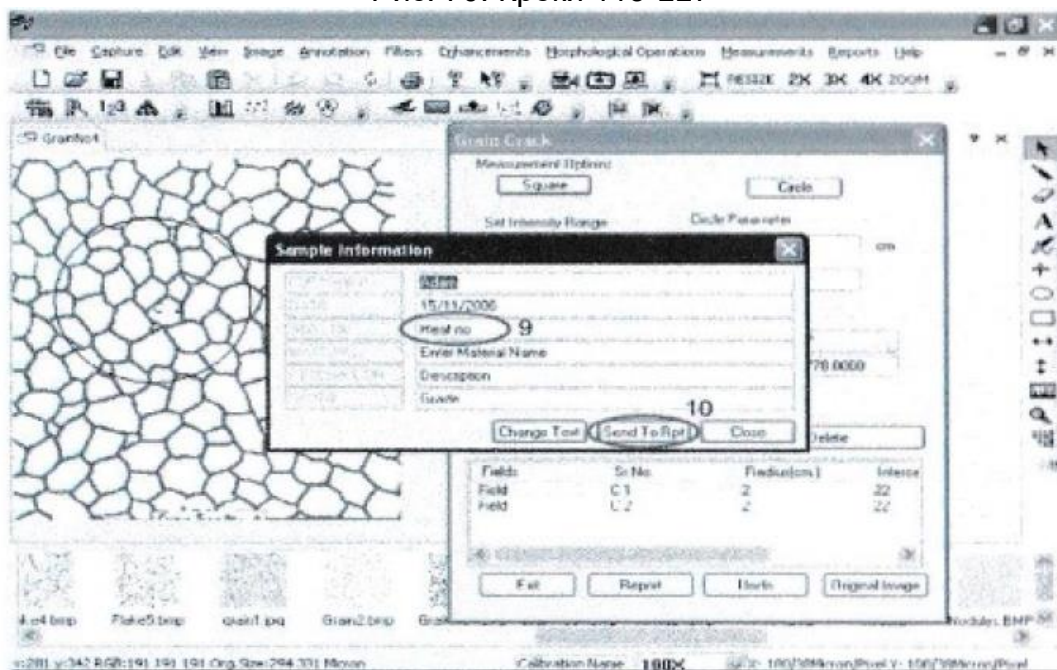


Рис. 71. Закрашення **Включення**

Пористість

Цей модуль дозволяє розпізнати та виміряти пористість матеріалу відповідно до стандарту ASTM B276.

Підраховується загальна кількість пор, їх відсоток, а також мінімальна та максимальна площа та периметр кожної пори.

Порядок дій:

1. Завантажте зображення для аналізу
2. Виберіть відповідне калібрування зі списку в нижній частині вікна програми.
3. Натисніть на іконці **Пористість** на панелі інструментів або виберіть відповідний пункт меню.

4. Клацніть (**Автоматично**), якщо хочете, щоб програма вибрала пори. Натисніть (**Встановити Порогову Величину**), якщо хочете встановити діапазон інтенсивності самостійно. Відкриється нове вікно. Переміщуйте лінії, доки всі пори не будуть заповнені червоним кольором. Натисніть (**ОК**).

5. Щоб переглянути результати вимірювань, клацніть (**Показати Результат**).
6. Клацніть (**Додати**), щоб додати результати вимірювання до таблиці.
7. Щоб переглянути результати вимірювань у графічному вигляді, клацніть (**Графік**).
8. Натисніть (**Звіт**), щоб зберегти звіт у вікні **Звіту**.
9. Відобразиться вікно зразка. Заповніть потрібну інформацію. Натисніть (**Надіслати Звіт**).
10. Щоб переглянути звіт у Excel, клацніть (**Excel**).

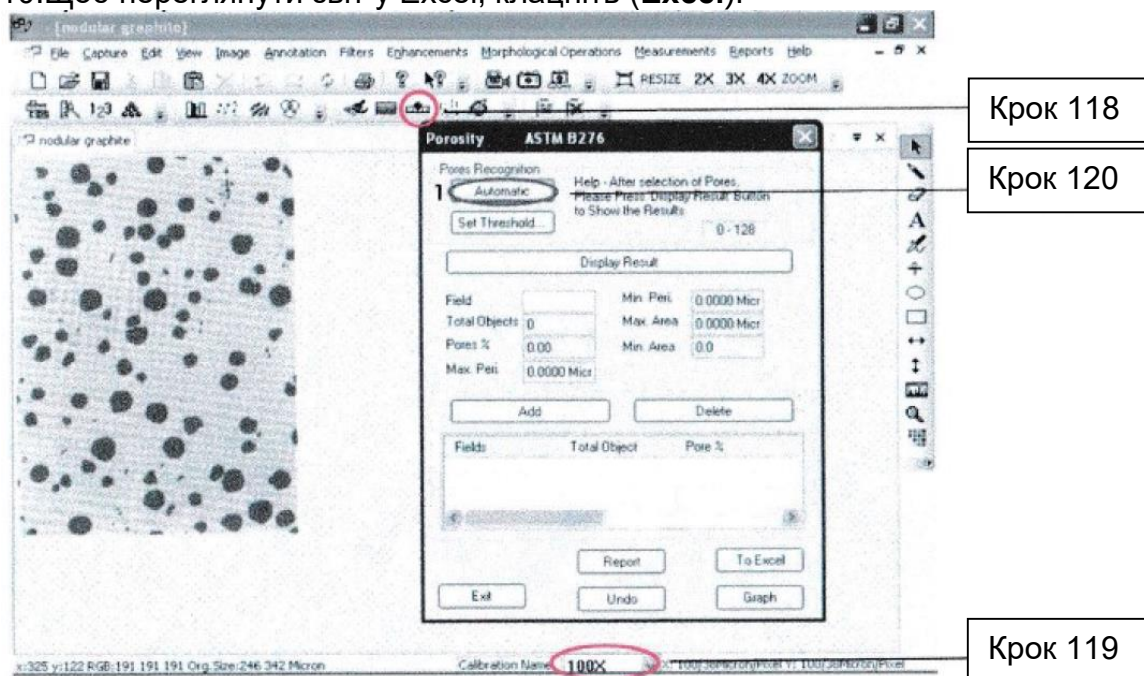


Рис. 72. Кроки 118-120

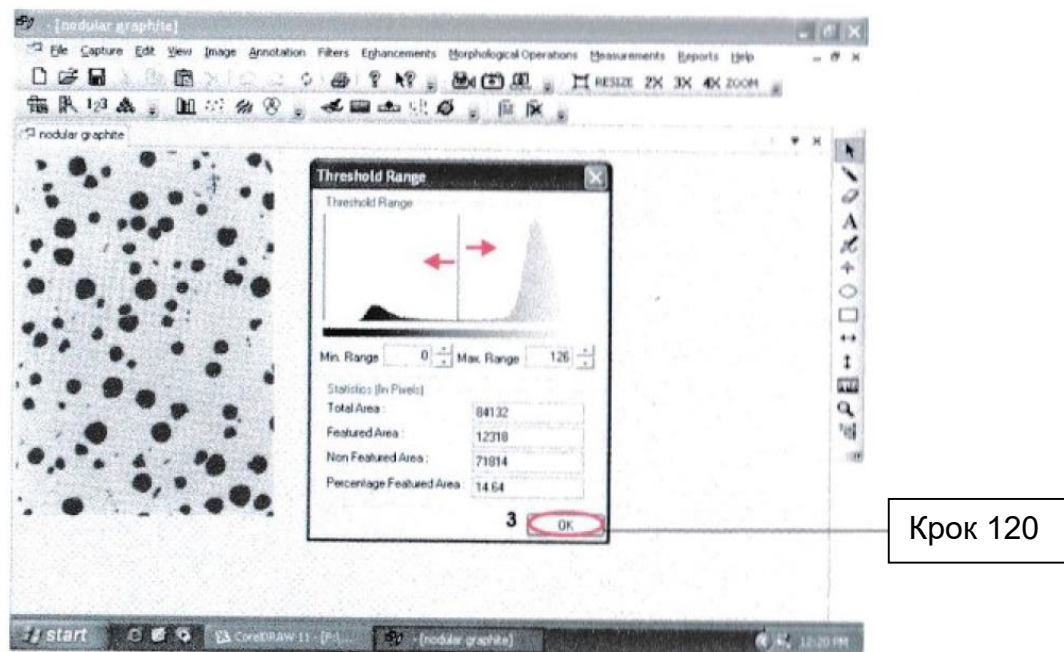


Рис. 73. Крок 120

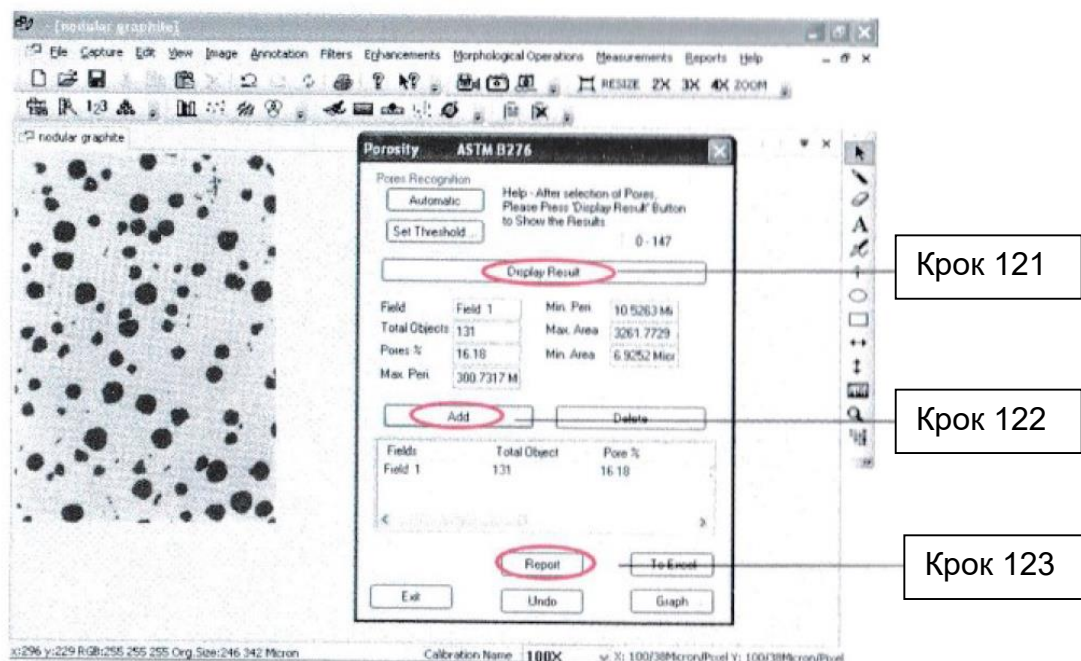


Рис. 74. Кроки 121-123

Вікно Звіту

Вікно звіту – це інтегрований модуль, який використовується для перегляду результатів аналізу зображення.

Щоб переглянути звіт, виберіть пункт меню **Звіти**, підпункт **Переглянути Звіт**.

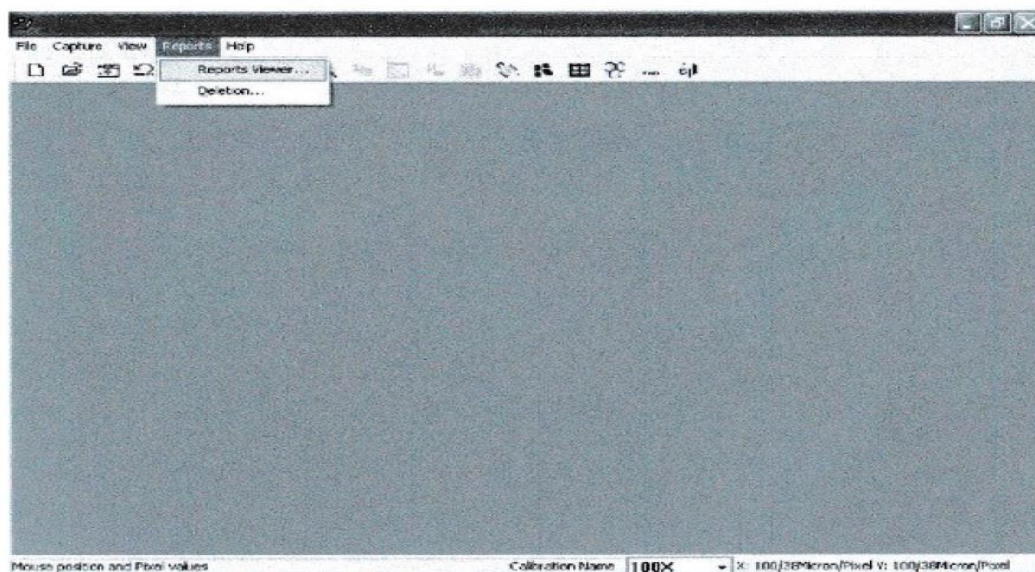


Рис. 75. Вікно **Звіти**

Відкриється вікно **Формат Звіту**, в якому користувач може вибрати визначені формати звітів та, натиснувши **ОК**, відкрити відформатований звіт. Якщо користувач бажає відкрити порожній звіт, натисніть **Новий**.

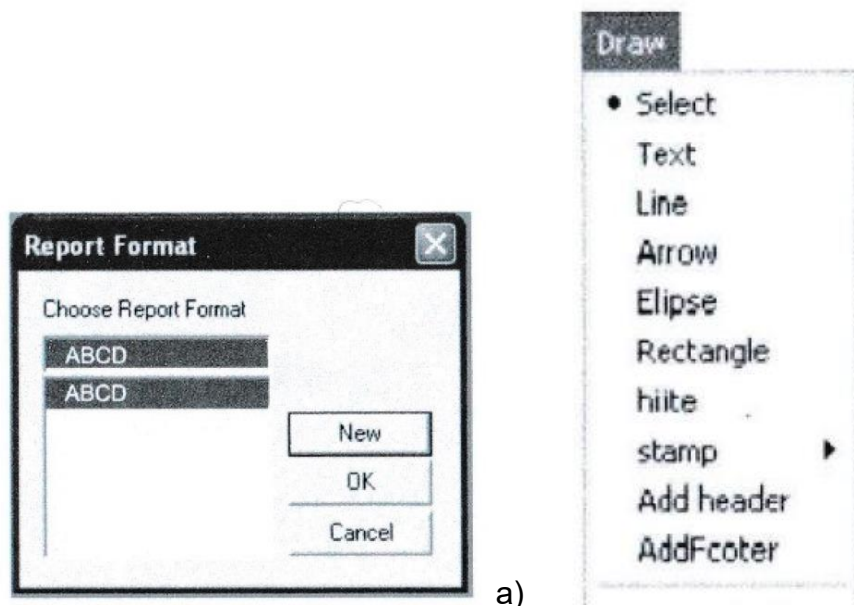


Рис. 76. Відкриття звіту у вікні **Звіту** (а); пункти меню **Малювання**

Щоб відкрити **Звіт**, виберіть пункт **Дані Звіту**, в якому будуть відображені відповідні вимірювання. Виберіть необхідний вимір. Відкриється вікно **Ідентифікатор зразка**, де вибирається ім'я зразка, яке користувач дав зразку, зберігаючи звіт. Натисніть кнопку ОК. Відкриються відповідні вихідне та оброблене зображення та таблиці з результатами вимірювання. Зображення, таблиці та текст у вікні звіту є об'єктами звіту.

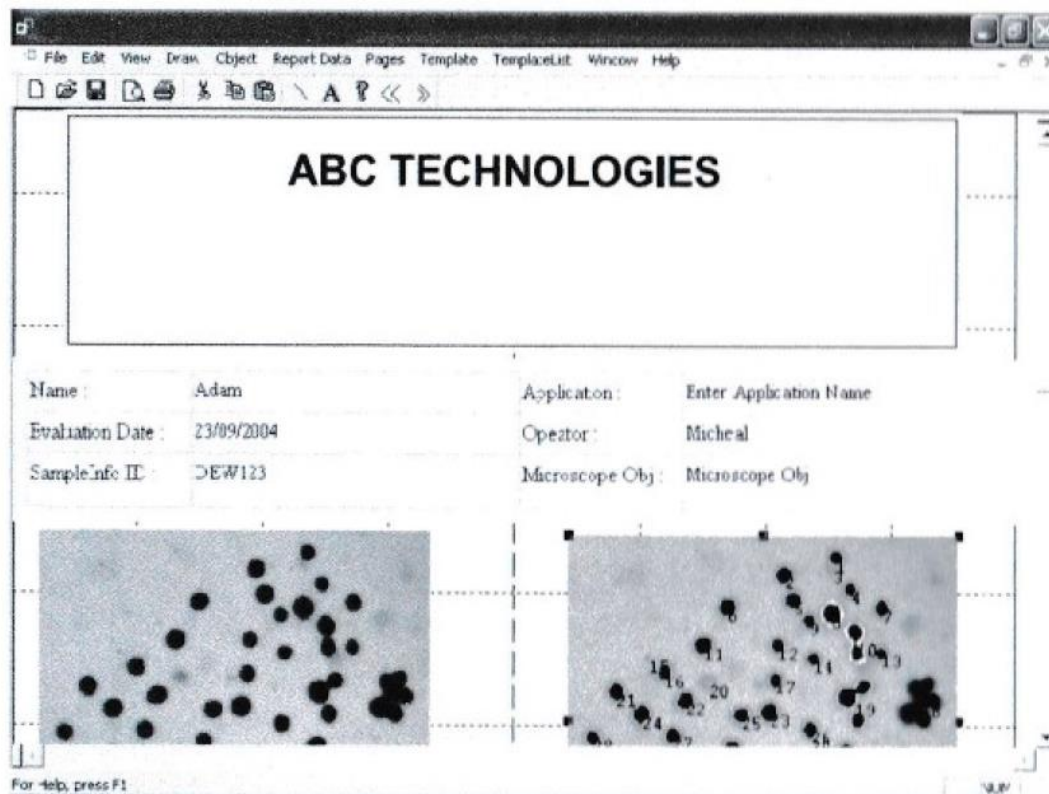


Рис. 77. Переміщення та зміна розмірів об'єктів **Звіту**.

Ми можемо змінити положення та розміри об'єктів у вікні звіту. Для цього натисніть лівою кнопкою миші на будь-якому об'єкті. На його контурах з'являться точки,

це означає, що об'єкт обрано. Утримуючи ліву кнопку миші, такий об'єкт можна переміщати у вікні звіту.

Щоб змінити розмір об'єкта, наведіть курсор на точки навколо об'єкта. Курсор перетвориться на стрілку, перетягуючи її, ви зміните розмір об'єкта.

Малювання об'єктів у вікні Звіту

Щоб намалювати різні об'єкти у вікні звіту (лінії, стрілки, текст тощо), виберіть пункт меню **Малювання**, що містить підпункти (рис. 108.6):

1. **Вибрати** 2. **Текст** 3. **Лінія** 4. **Стрілка** 5. **Еліпс** 6. **Прямокутник** 7. **Маркер** 8. **Друк** 9. **Додати Верхній Колонтитул** 10. **Додати Нижній Колонтитул**.

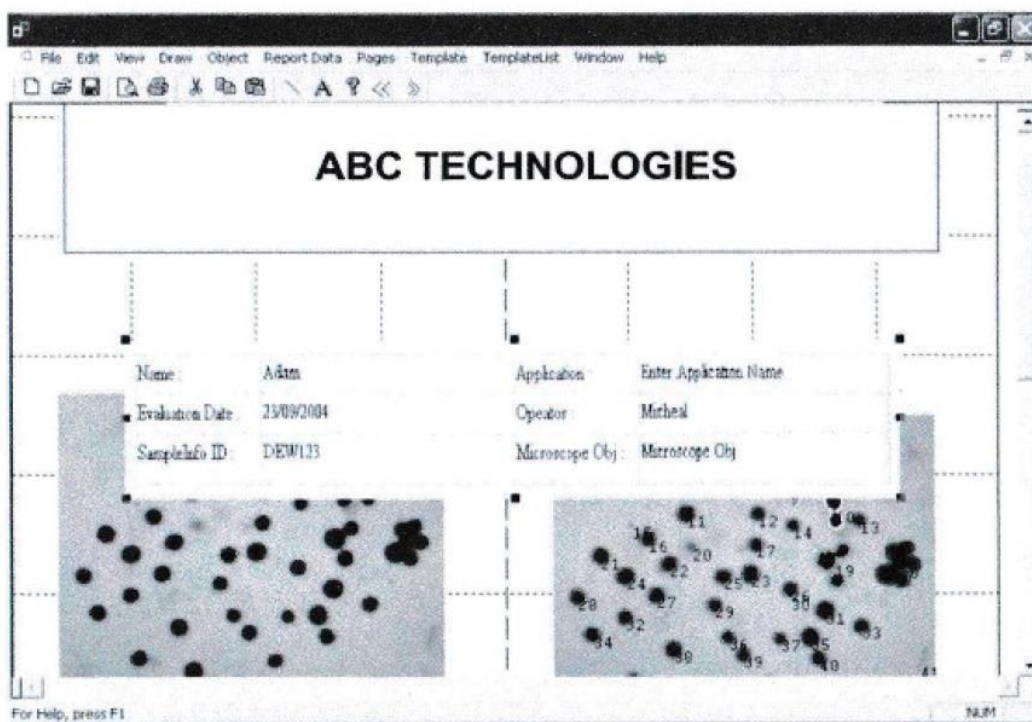


Рис. 78. Малювання об'єктів у Вікні Звіту

Вибрати — команда використовується для вибору об'єкта у звіті або для скасування вибраних опцій.

Текст — Використовуйте команду, щоб додати текст до звіту. Виберіть цей пункт, клацніть вікно звіту. Відобразиться вікно з курсором для тексту. Наберіть текст. Якщо вікно не збільшується під час набору, потягніть навколо нього.

Лінія — команда використовується, щоб намалювати лінії у звіті. Виберіть цей пункт та переміщуйте курсор по звіту, малюючи лінії. Щоб закінчити малювання, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Стрілка — команда використовується, щоб намалювати стрілки у звіті. Виберіть цей пункт меню, з'явиться діалогове вікно, в якому користувач може вибрати параметри стрілки (ширина, висота, прозорість або колір, напрямок вгору, вниз, ліворуч, праворуч). Задавши необхідні параметри, клацніть у вікні звіту там, де має бути стрілка. Щоб скасувати цю команду, позначте пункт Вибрати в меню Малювання. Можна крутити вже намальовану стрілку. Для цього виберіть потрібну стрілку, виберіть пункт меню Правка, підпункт Повернути Стрілку.

Еліпс - команда використовується, щоб намалювати еліпс у звіті, Виберіть цей пункт, і перетягуйте курсор доки не отримаєте еліпс. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Прямокутник – команда використовується, щоб намалювати прямокутник у звіті. Виберіть цей пункт і перетягніть курсор, доки не отримаєте прямокутник. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Маркер - команда використовується, щоб намалювати яскраво жовтий прямокутник для виділення об'єкта. Виберіть цей пункт, і перетягуйте курсор доки не отримаєте прямокутник. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Друк - команда використовується для розміщення різних печаток (Схвалено, Перевірено), які можна вибрати зі списку, який відкривається під час вибору команди **Друк** у меню Малювання. Вибравши тип друку, перетягуйте курсор по папю звіту, доки не отримаєте потрібний друк. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Додати Верхній Колонтитул — команда використовується, щоб вставити текстове повідомлення у верхній частині звіту, як колонтитул. Виберіть цей пункт, клацніть у вікні звіту, введіть текст, натисніть розмір. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Додати нижній колонтитул — команда використовується, щоб вставити текстове повідомлення внизу звіту, як колонтитул. Виберіть цей пункт, клацніть у вікні звіту, введіть текст, натисніть розмір. Щоб скасувати команду, двічі клацніть лівою кнопкою миші.

Видалити об'єкти малювання

Ми можемо видалити всі об'єкти, намальовані за допомогою описаних вище команд. Для цього виберіть об'єкт, клацніть правою кнопкою миші по ньому і виберіть команду Видалити з контекстного меню. Можна скористатися командою Видалити з пункту меню Правка або використовувати комбінацію клавіш **Ctrl-Del**.

Змінити розміри об'єктів малювання

Щоб змінити розмір об'єкта, спочатку виберіть його (клацніть на ньому лівою кнопкою миші, щоб з'явилися точки на його контурі). Наведіть курсор на кнопки, курсор перетвориться на стрілку, перетягуйте її, щоб змінити розмір.

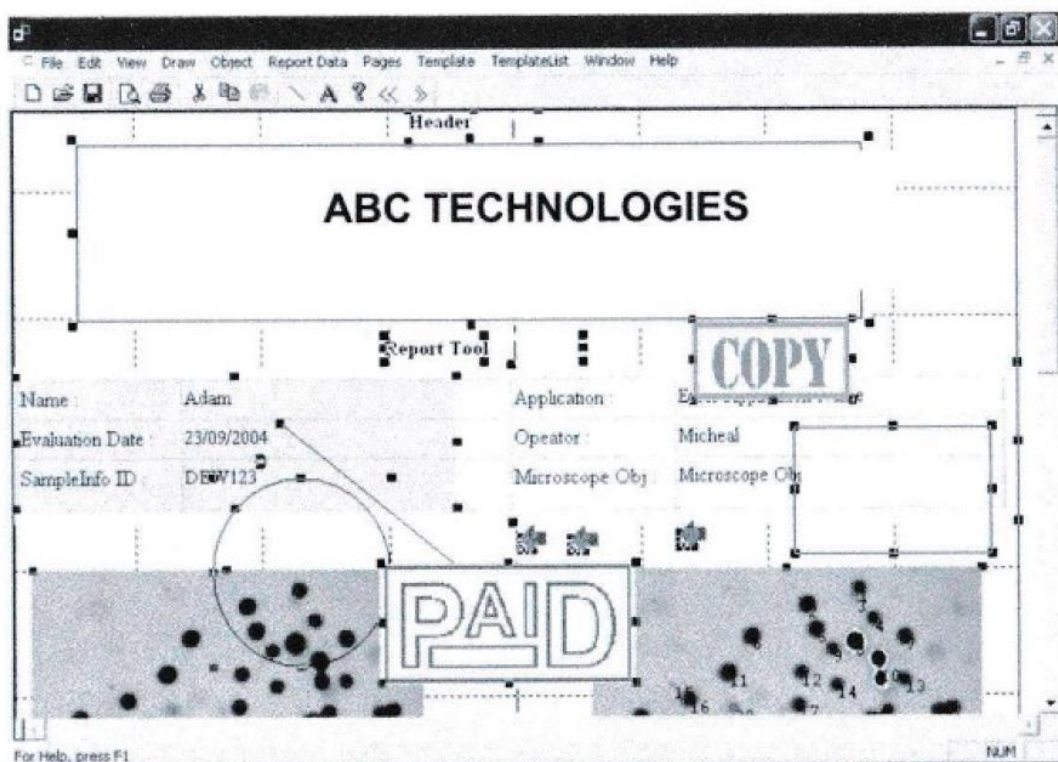


Рис. 79. Додавання штампу

Змінити колір ліній

Користувач може змінювати колір таких об'єктів як лінії, еліпс, прямокутник. Для цього виберіть об'єкт, виберіть пункт Об'єкт, підпункт Колір Ліній. Відкриється вікно, в якому потрібно вибрати колір, та натиснути ОК. Колір ліній вибраного об'єкта зміниться.

Змінити ширину ліній

Користувач може змінювати ширину таких об'єктів як лінії, еліпс, прямокутник. Для цього виберіть об'єкт, виберіть пункт Об'єкт, підпункт Ширина Ліній, Відкриється вікно, в якому потрібно вибрати ширину в пікселях, та натиснути ОК. Ширина ліній вибраного об'єкта зміниться.

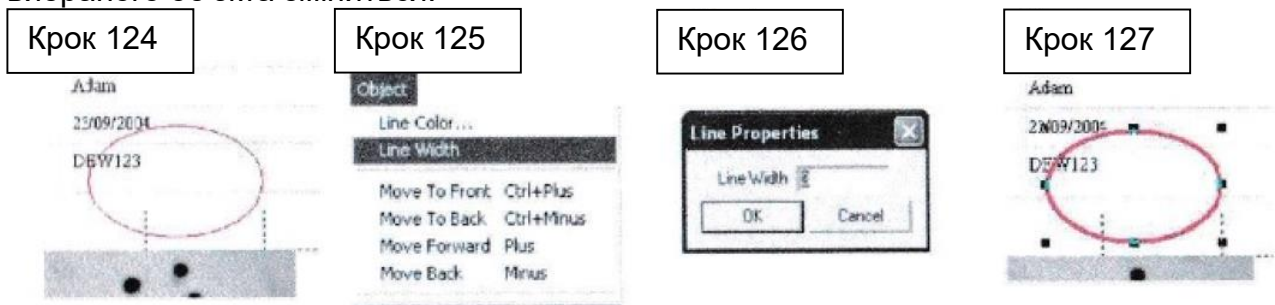


Рис. 80. Процес вимірювання ширини ліній, кроки 124-127

Змінити просторове розташування об'єктів

Користувач може змінити просторове розташування об'єктів у вікні звіту, розташовуючи їх перед іншими об'єктами або за ними. Виберіть об'єкт, виберіть об'єкт, виберіть Помістити Перед, Помістити За, Перемістити Вперед, Перемістити Назад.

Вставка сторінок

За промовчанням вікно звіту містить одну сторінку, але користувач може додати інші сторінки. Для цього виберіть пункт Сторінки, підпункт Вставити Перед, щоб вставити сторінки перед поточною, або Вставити Після, щоб вставити сторінки після поточної.

Пересування між кількома сторінками

Якщо в документі більше однієї сторінки, ми можемо переміщатися між ними, натискаючи на іконки із зображенням подвійних стрілок на панелі інструментів або вибираючи Наступна Сторінка/Попередня Сторінка в пункті меню Сторінки.

Додавання підпису до вікна звіту

Ця команда дозволяє додати відсканований підпис до вікна звіту.

Важливо: ми можемо додати лише растрові зображення (.bmp)

Виберіть пункт меню Правка, підпункт Додати Підпис. У діалоговому вікні виберіть растрове зображення із жорсткого диска. Після цього перетягніть зображення за допомогою миші в потрібне місце.

Додати нову організацію у формат звіту

За замовчуванням діалогове вікно формату містить одну організацію. Користувач може додати нову організацію до діалогового вікна формату. Виберіть меню Правка, підпункт Інформація про Організацію. Заповніть поля та натисніть ОК. При відкритті вікна звіту наступного разу ця інформація відображатиметься у діалоговому вікні формату.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРУ КОРОБЧАСТОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ВИТЯГУВАННЯ

В складі продукції приладо- і машинобудування, серед товарів широкого вжитку значне місце займають тонкостінні корпусні деталі коробчастої форми із листового металу, котрі, крім міцності і жорсткості, повинні бути непроникливими (герметичними) для рідин, газів, різного роду випромінювання (електромагнітного, радіаційного).

Найбільш досконалим методом їх виготовлення, є витягування із листового металу, за одну чи декілька операцій, кількість яких залежить від геометричних параметрів деталі, форми самої деталі та вихідної заготовки.

Як показує виробнича практика, раціональна форма вихідної заготовки чи проміжних напівфабрикатів (при багаторазовому витягуванні) дозволяє скоротити кількість операцій та забезпечити високу якість виробів. В більшості випадків такі форми вдається відшукати шляхом проб і помилок, тому одним із напрямків вдосконалення процесу витягування коробчастих деталей із листового металу є створення наукових основ їх визначення.

Внаслідок чого актуального залишається потреба в окресленні напрямків вдосконалення процесів витягування, винайдення тих рішень, які у майбутньому дозволили б вдосконалити технологію виготовлення тонкостінних порожнистих деталей у відповідності з вимогами сьогодення.

Аналізуючи огляд патентів за 1965-1985 рр., який виконано Всесоюзним науково-дослідним інститутом патентної інформації, та інформації з Internet за наступні роки щодо процесів витягування виробів із листових матеріалів було визначено, що серед основних напрямків розвитку процесів витягування можна виділити підвищення коефіцієнту використання металу та скорочення кількості проміжних переходів шляхом вибору раціональної форми заготовки.

На конфігурацію оптимальної заготовки для витягування, крім форми виробу, впливають й інші фактори, основними з яких являються:

- властивості матеріалу заготовки, з урахуванням його анізотропії;
- спосіб витягування (з підігрівом або без нього);
- величина і характер (постійне або змінне) зусилля притискувача;
- форми і розміри робочих частин штампу;
- величина зазору між пуансоном і матрицею;
- відносна товщина заготовки;
- тертя;
- змащування.

Зміна кожного з цих факторів при витягуванні виробів складної, зокрема коробчастої, форми викликає зміну умов деформування різних ділянок фланцю заготовки, внаслідок чого переміщення матеріалу заготовки у різних місцях буде різним, а зовнішній контур заготовки не являється еквідістантним контуру деталі чи напівфабрикатів.

Проте вплив всіх цих факторів незначний на відміну від впливу розмірів і форми деталі та заготовки. Тому при визначенні розмірів і форми заготовки для витягування конкретної деталі виходять тільки із її глибини та розмірів і форми в плані, користуючись рядом припущень та емпіричних залежностей. Одержані таким методом заготовки при відпрацюванні технологічного процесу багаторазово корегуються, що викликає значні

затрати матеріальних і людських ресурсів, збільшення термінів підготовки виробництва і, як наслідок, зниження конкурентоздатності продукції. Саме тому подальший розвиток напрямків вдосконалення процесів витягування порожнистих виробів складної форми пов'язаний з визначенням розмірів та форми заготовки та напівфабрикатів, а вирішення цих задач є актуальним для вдосконалення і підвищення ефективності листоштампувального виробництва.

Розрахунок заготовок для витягування прямокутних порожнистих виробів, особливо у тих випадках, коли вони повинні штампуватися без обрізування краю або з мінімальним припуском на обрізування, представляє дуже важливий і відповідальний етап проектування технологічного процесу та конструювання штампів. Помилки у розмірах теоретичної заготовки тягнуть за собою необхідність експериментально корегувати їх, що пов'язано із збільшенням вартості штампів та термінів їх виготовлення. Такі помилки на виробництві зустрічаються досить часто. Головною причиною їх, за звичай, є помилковість обраних методів розрахунку або невідповідність рекомендованих емпіричних залежностей реальним умовам деформування.

Розглянемо найбільш розповсюджені методи визначення розмірів та форми заготовок рекомендованих для витягування різних типів коробчастих деталей, залежно від їх геометричних параметрів.

Класифікація порожнистих тонкостінних деталей

Витягуванням можна отримати тонкостінні порожнисті вироби різної форми, які, як правило, не потребують ніякої іншої додаткової обробки на металорізючих верстатах. Виходячи з форми і технологічних особливостей штампування, порожнисті тонколистові деталі можна розділити на кілька основних груп:

- циліндричні порожнисті деталі (рис. 1.);
- порожнисті вироби, що мають форму тіл обертання (рис. 4.);
- порожнисті деталі коробчастої форми (рис. 2.);
- порожнисті вироби з випукло-увігнутими стінками (рис. 3.);
- порожнисті вироби, що мають прямі і випукло-увігнуті стінки (рис. 5.);
- порожнисті деталі складної форми (рис. 6.);
- порожниста деталь з потовщеним дном і змінною товщиною стінки (рис. 7.).

В свою чергу кожна з вказаних груп можна поділити на типи залежно від форми в плані та нахилу стінок.

Загальноприйнятої класифікації деталей коробчастої форми не існує, так як кожен автор робить розподіл деталей на групи за власними критеріями.

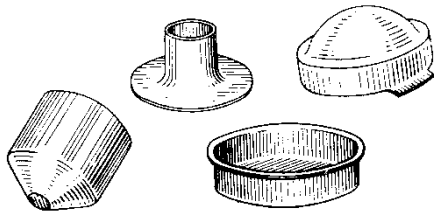


Рис. 1. Циліндричні порожнисті деталі

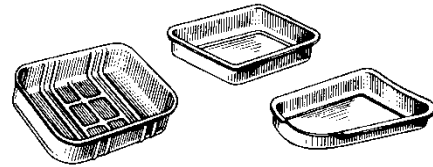


Рис. 2. Порожнисті деталі коробчастої форми

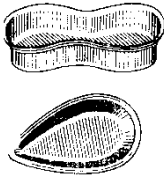


Рис. 3. Порожнисті вироби з випукло-увігнутими стінками

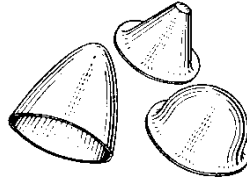


Рис. 4. Порожнисті вироби, що мають форму тіл обертання

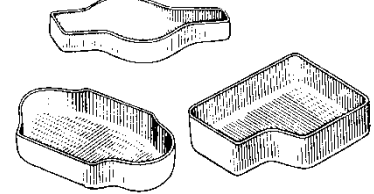


Рис. 5. Порожнисті вироби, що мають прямі і випукло-увігнуті стінки

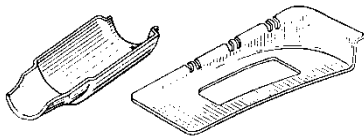


Рис. 6. Порожнисті деталі складної форми



Рис. 7. Порожниста деталь з потовщеним дном і змінною товщиною стінки

Так деталі коробчастої форми можна розділити на деталі утворені:

- прямолінійними стінками з випуклими заокругленнями на кутах - квадратні і прямокутні;
- сполученням прямолінійних стінок з випуклими і увігнутими заокругленнями;
- криволінійними випуклими або увігнутими стінками – овальні, еліптичні і т.д.

Так А.Ю. Аверкієв ділить коробчасті вироби в залежності від геометричних параметрів, що визначають кількість операцій, необхідних для отримання деталей, а саме: на низькі і високі. Так за думкою автора низькі деталі витягуються за одну операцію, а високі - за дві і більше операцій. Він пропонує розміри заготовок для деталей коробчастої форми визначати так як і розміри заготовок для осесиметричних деталей, а саме: з умови постійності поверхні. На думку автора, форма заготовок для коробчастих деталей залежить від співвідношення основних розмірів деталі: відносної висоти H/B , відносної ширини B/A і відносного радіусу заокруглення кутових ділянок коробки r_y/H .

В залежності від відносних розмірів деталі використовуються різні способи побудови контуру заготовки.

Існуючі методи розрахунку заготовок для витягування прямокутних коробчастих виробів розглядають лише окремі часткові випадки без чіткого визначення меж їх використання.

Найчастіше виявляється, що методи розрахунку, які використовуються у одному випадку, непридатні при витягуванні аналогічних коробчастих виробів, але з іншим співвідношенням розмірів. Це відбувається тому, що спосіб розрахунку і побудови форми заготовки в значній мірі залежить від відносної висоти коробчастого виробу H/B та відносного радіусу кута r/B , тому що від їх співвідношення залежить ступінь витіснення металу з кутових ділянок у бічні стінки коробчастого виробу і збільшення їх висоти.

Класифікація деталей коробчастої форми (квадратних і прямокутних в плані) та методи розрахунку і визначення форми заготовки для коробчастих деталей як правило визначається за трьома безрозмірними параметрами:

1. відношенням сторін коробки в плані A/B (A – більша сторона коробки в плані);
2. відносною глибиною H/B ;
3. відносним радіусом заокруглення кутів r/B .

Основна задача методу гідромеханічних аналогій (ГДА) при аналізі процесів обробки матеріалів тиском (ОМТ) полягала у визначенні поля швидкостей моделюючого середовища в області деформації. Для визначення поля швидкостей металу, що деформується, максимально наближеного до дійсного у процесах пресування, волочіння, прокатки з використанням методу ГДА, Г.Я. Гун використовував метод потенціалу швидкостей течії ідеальної нестисливої рідини з можливістю наступного уточнення варіаційними методами. Він показав, що у багатьох випадках навіть перше наближення поля швидкостей методом потенціального поля швидкостей ідеальної нестисливої рідини є досить точним для визначення дійсного поля швидкостей металу, під час деформування.

Для визначення поля швидкості при витягуванні порожнистих виробів методом ГДА запропоновано розглядати “зворотній” процес, в якому пружно-пластичне середовище моделюється течією ідеальної (в’язкої) нестисливої речовини від контуру матриці у “зворотному” напрямку. У такому разі за відомими геометричними параметрами матриці та кінематичними умовами на внутрішньому контурі можна визначити форму і розміри зовнішньої межі осередку деформації, яка й приймається за перше наближення контуру заготовки.

У подальшому, за необхідності, для уточнення форми і розмірів раціональної заготовки можна використати сучасні комп’ютерні методи моделювання або прямі варіаційні методи. Але для цього необхідно переконатися, що гідродинамічна модель “зворотного” процесу в певній мірі може відображати характер пружно-пластичного деформування плоскої листової заготовки при витягуванні.

Про таку можливість можна було б судити за формою і розмірами зовнішньої межі осередку деформації, порівнюючи її з формою та розмірами заготовок для витягування коробчастих деталей, розрахованих за різними відомими у практиці методами, перш за все методом ліній ковзання. Для цього розроблено експериментальну установку для моделювання “зворотного” витягування, яка представлена на рис. 1. Переважна більшість деталей установки (рис. 1) виготовлені з оргскла, а саме: матриця 1, пуансон 2, нижня плита 3, притискач 4, циліндр 8, шайба-дросель 9, поршень 11, кришка 14.

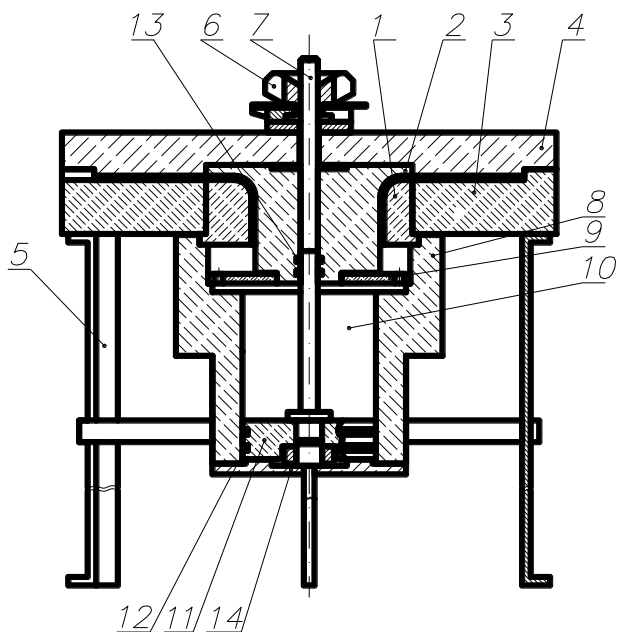


Рис. 8. Пристрій для моделювання
“зворотного” витягування.

- 1 – матриця; 2 – пуансон;
- 3 – нижня плита;
- 4 – притискач з нанесеною координатною сіткою;
- 5 – корпус; 6 – гайка; 7 – шток;
- 8 – циліндр; 9 – шайба-дросель;
- 10 – камера циліндра; 11 – поршень;
- 12 – ущільнюючі кільця поршня;
- 13 – ущільнюючі кільця штока;
- 14 – кришка

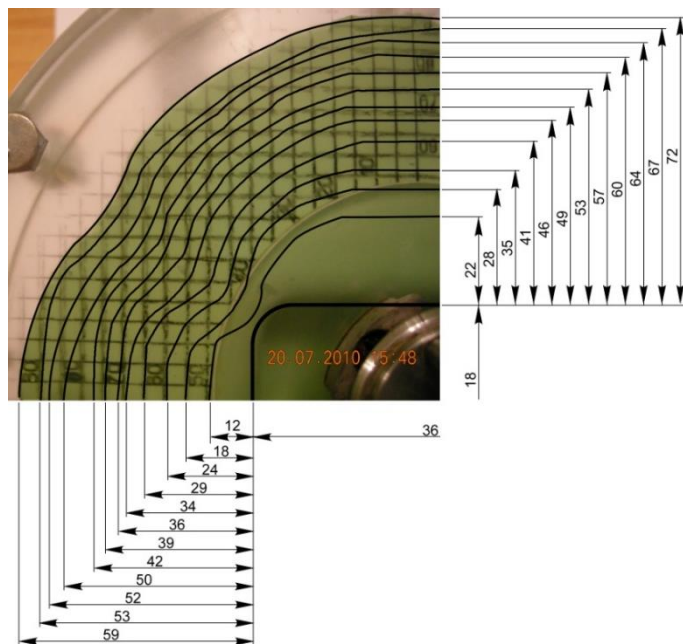


Рис. 9. Результати “зворотного” витягування
за різної глибини умовної коробчастої деталі
прямокутної форми з розмірами
у плані 72х36 мм

На рис. 9 показано контури заготовок, отримані за допомогою “зворотного” витягування, для умовної коробчастої деталі прямокутної форми з розмірами у плані 72х36 мм, що накладені на систему координат. На ньому можна спостерігати динаміку витікання в'язко-пластичної нестисливої рідини у зазор між верхньою та нижньою плитами установки для “зворотного” витягування. Так, на початкових стадіях моделювання спостерігається деяке “відставання” витікання моделюючої речовини у місцях кутових заокруглень, що пояснюється нерівномірним НДС саме поблизу переходу від кутових заокруглень до прямолінійних ділянок коробчастої деталі. Крім того, на початкових етапах моделювання можна зафіксувати досить суттєві прямолінійні ділянки контуру отриманої заготовки, що узгоджується з наявністю пружної ділянки фланця напроти прямолінійної ділянки контуру матриці в плані. Також на рисунку видно, що поступово контури оптимальних заготовок вирівнюються по всьому периметру і перетворюються у заготовку, наближену до овалу для прямокутної коробчастої деталі (рис. 9, при витягуванні відносно високої прямокутної коробчастої деталі).

Особливо продуктивною ГДА виявилась в варіаційних методах розв'язку задач ОМТ, коли поле кінематично можливих швидкостей металу в осередку деформації

представляють полем швидкості ідеальної рідини з деякими параметрами, що задовольняють граничним умовам. Це дозволяє одержати так зване опорне рішення для компонент НДС яке уточнюється шляхом варіації додаткових параметрів поля швидкостей, зокрема з використанням методу локальних варіацій.

Вказаним методом були визначені параметри напружено-деформованого стану як для стаціонарних процесів обробки металів тиском (пресування, волочіння, прокатування), так і для процесів кування і об'ємного штампування. В останньому випадку частина границі, що обмежує осередок деформації, наперед не визначена і рівняння її може бути отримано в процесі розв'язку. Виконуючи варіацію границі осередку деформації можна знайти з необхідним наближенням параметри НДС.

Можливість застосування таких методів представляє інтерес для аналізу процесів витягування із листових матеріалів порожнистих виробів коробчастої форми, зокрема для визначення раціональної форми вихідної заготовки і форми проміжних переходів при багатоопераційному витягуванні, які до цього часу виконуються емпіричними методами і відрізняються суттєво у різних авторів.

Однак, слід підкреслити, що на відміну від волочіння витяжка є не стаціонарним процесом пластичної течії і можливість використання гідродинамічної моделі для визначення раціональних розмірів і форми заготовок коробчастих деталей потребує додаткових досліджень.

Однією з перших робіт у цьому напрямку, як нам відомо, була робота Жаркова В.А. В цій роботі визначення раціональної форми заготовки і переходів для витягування квадратного в плані порожнистого виробу розглядалась як задача обтікання жорсткого тіла відповідної форми потоком ідеальної рідини. З математичної точки зору задача зводилась до розв'язку задачі Діріхле для рівняння Лапласа з заданим на нескінченості полем швидкостей. Суттєвим недоліком такої постановки задачі є те, що вона не враховує наявності жорстких зон на прямолінійних ділянках контуру деталі, наявність яких обґрунтована теоретично і підтверджена експериментально.

Тому цей напрямок в подальшому не одержав розвитку. В даній роботі пропонується новий підхід вирішення вказаних задач з використанням ГДА, який дозволяє одержати поле швидкостей з урахуванням жорстких зон. Суть методу полягає в тому, що розглядається "обернений" процес витягування, який моделюється витіканням ідеальної рідини із заданою на контурі деталі та границях жорстких зон нормальною компонентою швидкості.

Під терміном "обернений" ми розуміємо уявний процес, в якому в зазор між пуансоном і матрицею на поверхню між дзеркалом матриці і притискувачем видавлюється метал із стінок коробчатої деталі.

За цієї умови одним із напрямків визначення раціональних розмірів і форми заготовок, на наш погляд, може стати гідродинамічне моделювання "оберненого" процесу витягування.

Пристрій для моделювання процесу "зворотного" витягування

З метою перевірки можливості визначення оптимального контуру заготовки для витягування порожнистих виробів типу прямокутних і квадратних коробок методом гідродинамічної аналогії було запропоновано розглядати «обернений» процес –

видавлювання рідини із щілини, що має контури коробки в плані на площину-фланець і фіксувати зовнішній контур, який створює видавлена рідина.

Для цього був спроектований пристрій, показаний на Рис.8.

Процес моделює витягування у зворотному напрямку, тобто починаючи з контуру деталі в плані (або контуру матриці), та відтворює можливий зовнішній контур при поступовому розширенні області, яку займала б заготівка, що перетворювалася б при витягуванні в стінки порожнистого виробу.

Загальний вигляд та схема експериментальної установки представлена на Рис. 8.

Пристрій складається з матриці 1, в порожнину якої встановлено пуансон 2 з зазором, що відповідає товщині стінки готової деталі. Притискувач 4 виконано з прозорого матеріалу, на поверхні якого нанесено координатну сітку, яка показана на Рис.9., і встановлено над робочою площиною матриці 1.

Під матрицею 1 розташована камера 10 для в'язкої рідини, що має зв'язок через канали у шайбі-дроселі 9 з гідроциліндром 8 та поршнем 11.

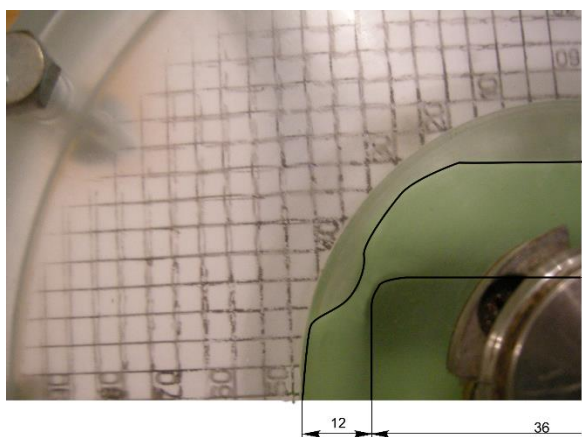
Матриця встановлюється у нижню плиту у певному положенні, яке фіксується клеєною шпонкою. Як матриця, так і пуансон, так і інші складові виготовлені із суцільного органічного скла, що ретельно відполіроване, що дає можливість спостерігати рух в'язкої рідини, яка моделює "обернений" процес витягування. На всіх стадіях – від заповнення зазору між пуансоном і матрицею до утворення "фланця" заповнення зазору відбувається після проходження моделюючим середовищем шайби-дроселя, яка передбачена для вирівнювання подачі з циліндру в зазор між матрицею і циліндром. Поршень кріпиться до штоку, який проходить через усю вісь експериментальної установки. Під дією гайки 6 шток 7 рухається поступально. Він має у верхній частині різьбу з кроком 1 мм. У нижній частині шток 7 має прямокутний поперечний переріз, щоб під час поступального руху поршень не обертався. Крім того у пуансоні передбачені ущільнюючі кільця 13, щоб до різьбового з'єднання не потрапила моделююча в'язка рідина. Ущільнення 12 передбачені і по периметру поршня, щоб моделююча в'язка рідина не витікала назовні. До нижньої частини циліндра 8 прикріплена кришка з пазом 14 для фіксації нижнього положення поршня.

Моделююча установка працює так. Камера 10 гідроциліндру 8 заповнюється моделюючою в'язкою рідиною так, щоб в рідині були відсутні повітряні пухирці. Їх наявність спотворює результат, так як змінюється густина при русі у щілині між матрицею та пуансоном. Контроль подачі моделюючої в'язкої рідини, а значить і висоти готової коробчастої деталі, обертанням гайки 6. В'язка рідина витікає через шайбу-дросель у камеру під пуансоном і матрицею, а саме: через її отвори, що рівномірно розташовані по периметру контуру деталі. Через щілину між пуансоном і матрицею моделююча в'язка рідина витікає у зазор між притискувачем і нижньою плитою, утворюючи конфігурацію заготівки коробчастої деталі, яку ми і шукаємо. Координати точок контуру заготівки легко визначити, користуючись координатною сіткою на поверхні притискувача 4.

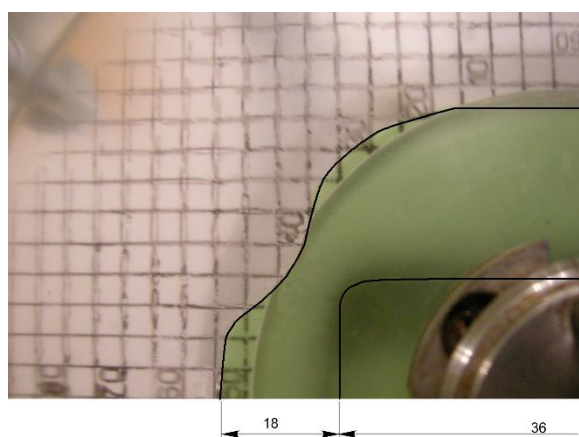
Результати моделювання на пристрої “оберненого” витягування

На Рис. 10 та Рис. 11. показані результати “зворотнього” витягування при різній глибині умовної коробчатої деталі прямокутної і квадратної форми з розмірами у плані 72х36 мм та 56х56 мм відповідно.

На Рис. 10.а. показаний контур “заготовки” поблизу кутового заокруглення при “глибині” прямокутної коробчатої деталі 22 мм. Звертає на себе увагу, що ширина фланця на бісектрисі кута менше ширини фланця проти прямолінійної частини контуру. Різниця досягає 17 мм.

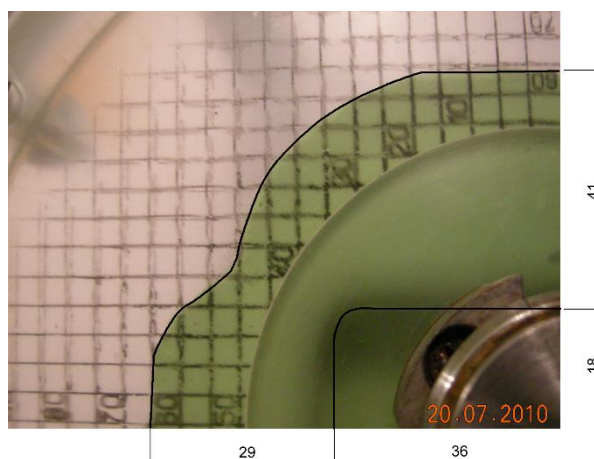
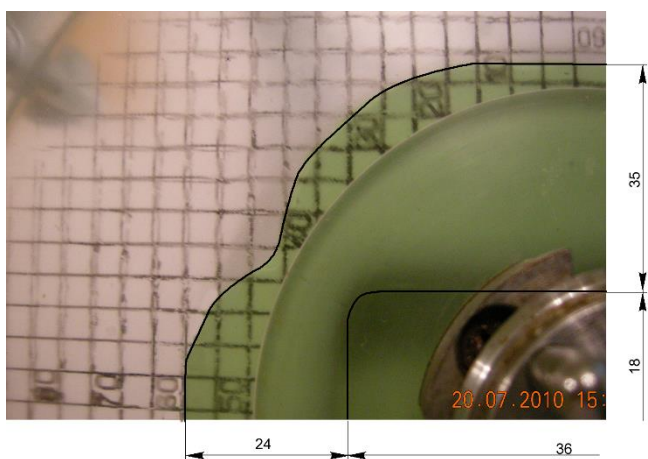


а)

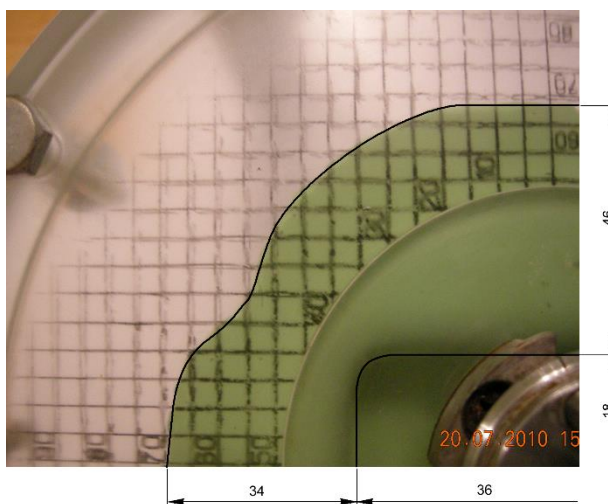


б)

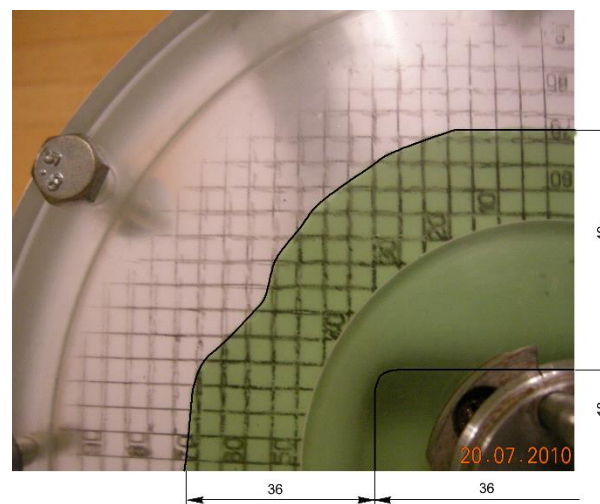
Рис. 10. Результати “зворотнього” витягування при різній глибині умовної коробчатої деталі прямокутної форми з розмірами у плані 72х36 мм.



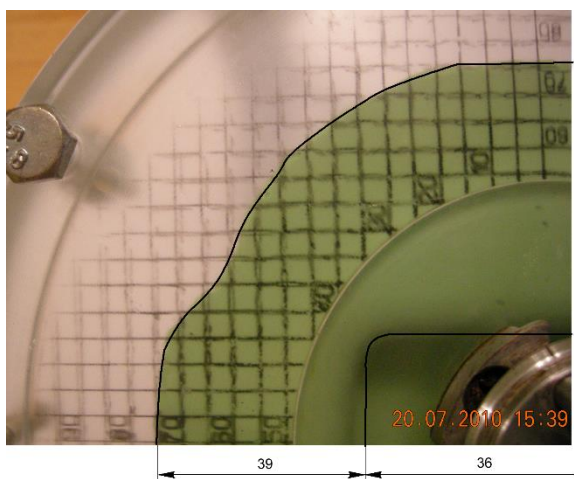
Продовження Рис. 10.



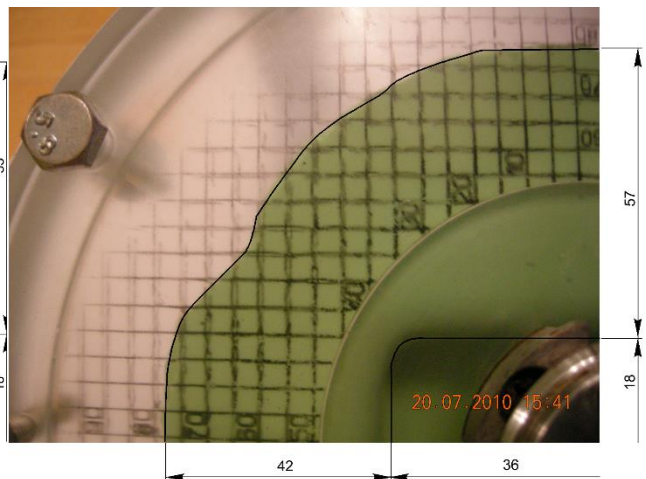
д)



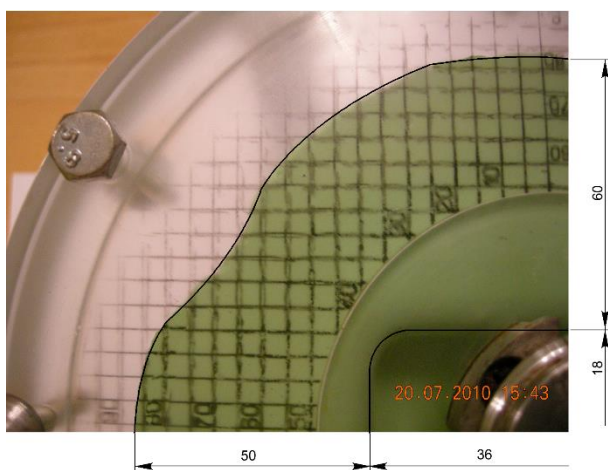
е)



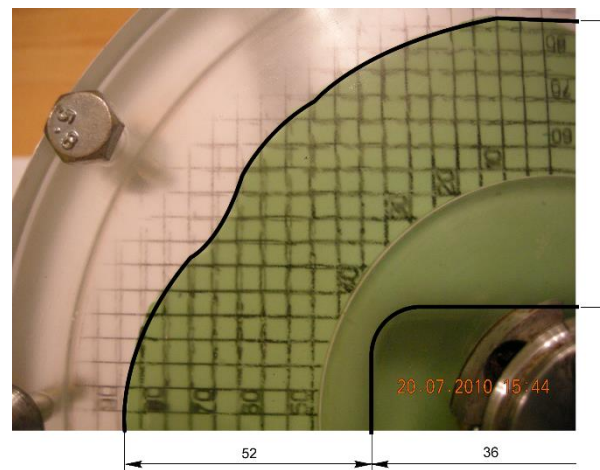
е)



ж)

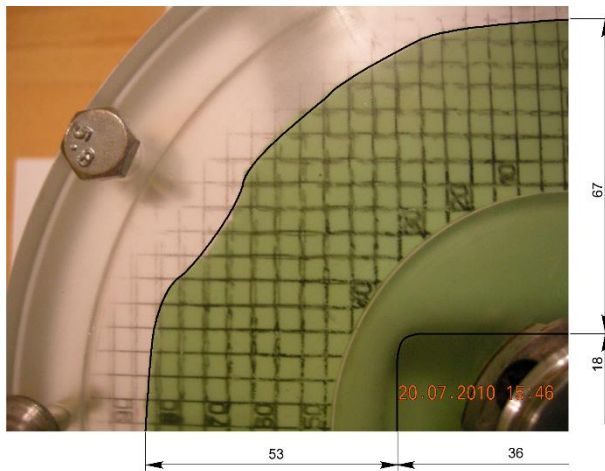


з)

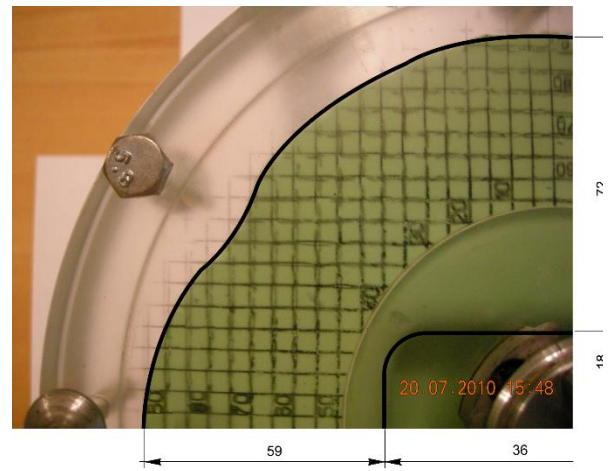


и)

Продовження Рис. 10.



і)

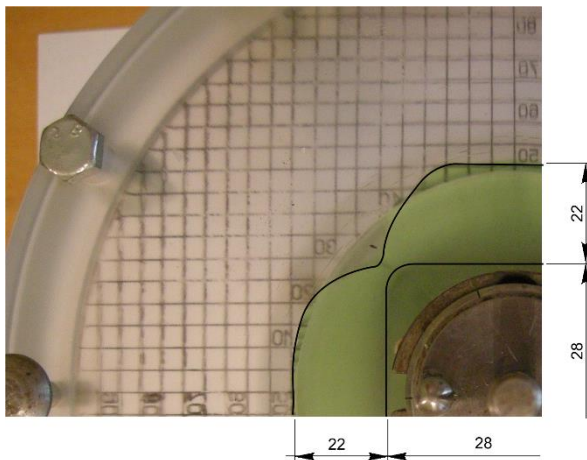


й)

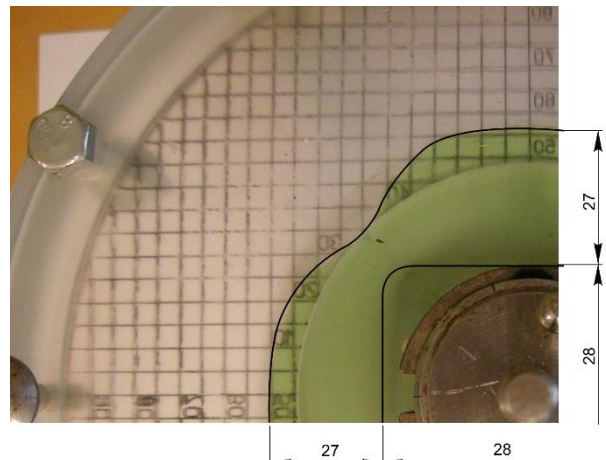
Для більшої “глибини” ця різниця поступово зменшується. На Рис. 10.г. при “глибині” 40 мм вона складає вже 16 мм.

При “глибині” 72 мм ця різниця практично зникає і контур умовної заготовки приймає форму близьку до овалу для прямокутної коробки.

Практично подібні результати для “зворотнього” моделювання витягування квадратних коробчастих виробів.



а)



б)

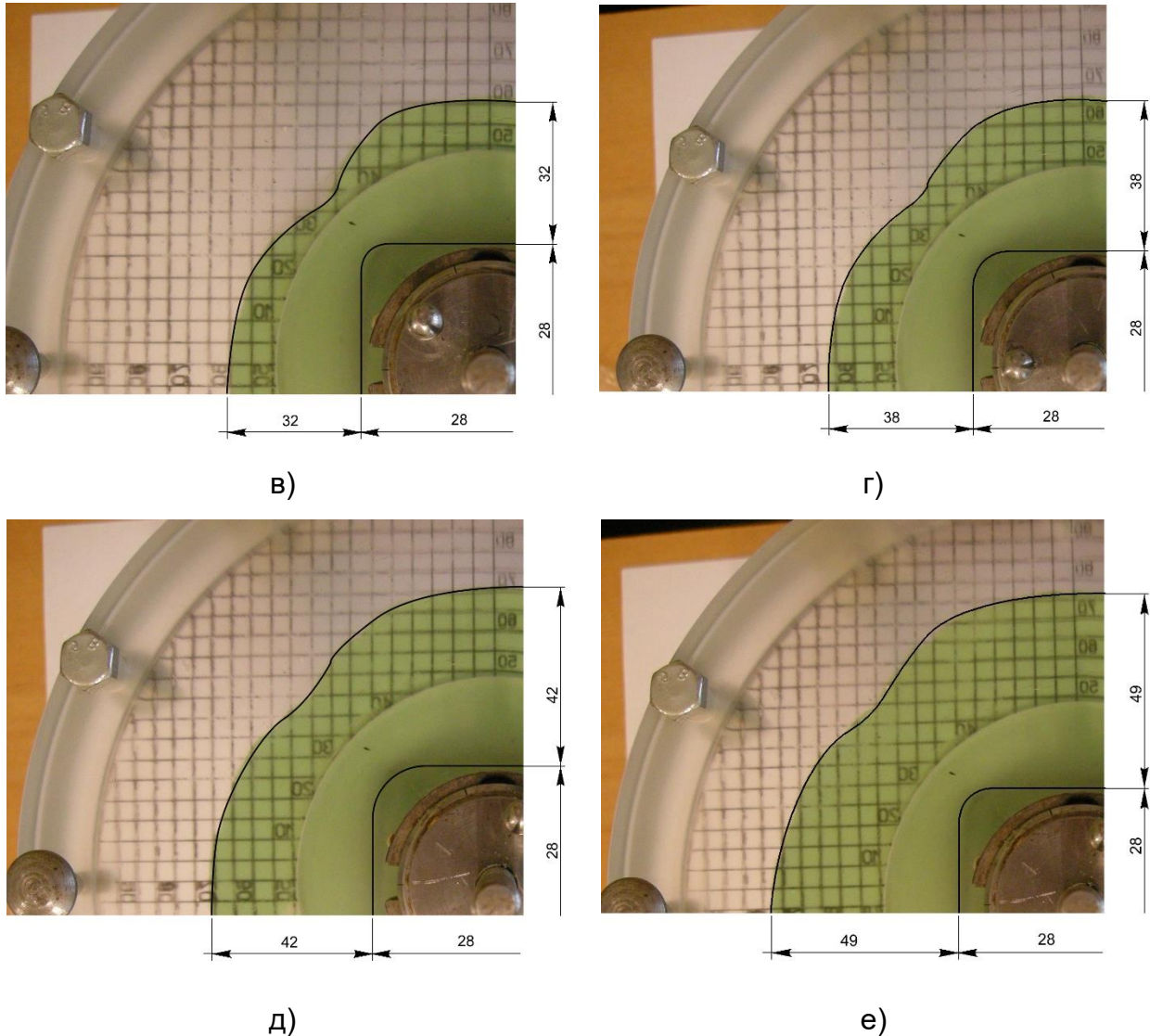


Рис. 11. Результати “зворотнього” витягування при різних глибині умовної коробчатої деталі квадратної форми з розмірами у плані 56х56 мм.

На Рис. 11.а. показаний контур “заготовки” поблизу кутового заокруглення при “глибині” квадратної коробчатої деталі 22 мм. Звертає на себе увагу, що ширина фланця на бісектрисі кута менше ширини фланця проти прямолінійної частини контуру. Різниця досягає 18 мм.

Для більшої “глибини” ця різниця поступово зменшується. На Рис. 3.5.в. при “глибині” 32 мм вона складає вже 16 мм.

При “глибині” 49 мм ця різниця практично зникає і контур умовної заготовки приймає форму близьку до кола для квадратної коробки (Рис. 3.5.е.).

На Рис. 11. показані контури заготовок, отримані за допомогою “зворотнього” моделювання, для коробчатої квадратної деталі з розмірами у плані 56х56 мм, що накладені на одну систему координат. На ньому можна помітити динаміку виходу ідеальної пластичної нестиканої рідини у зазор між верхньою і нижньою плитою установки для “зворотнього” витягування. Так на початкових стадіях моделювання спостерігається “відставання” виходу моделюючої речовини у місцях кутових заокруглень, що пояснюється нерівномірним НДС станом саме у цих ділянках

коробчатої деталі. Крім того, на початкових етапах моделювання можна зафіксувати досить помітні прямолінійні ділянки контуру отриманої моделюванням заготовки, що узгоджується з думкою щодо наявності пружної ділянки навпроти прямолінійної ділянки контуру матриці в плані. Також на рисунку видно, що поступово контури оптимальних заготовок вирівнюються по всьому периметру і перетворюються у заготовку наближену до кола для квадратної коробчатої деталі (Рис. 12.а.) та до овалу для прямокутної коробчатої деталі (Рис. 12.б.).

На Рис. 13.а. показані розміри і форма оптимальних заготовок для витяжки квадратних коробок різної висоти, отримані за допомогою запропонованого пристрою для “зворотнього” витягування. На Рис. 13.б. показані розміри і форма оптимальних заготовок для витягування квадратних коробок різної висоти, отримані за допомогою методу ліній ковзання.

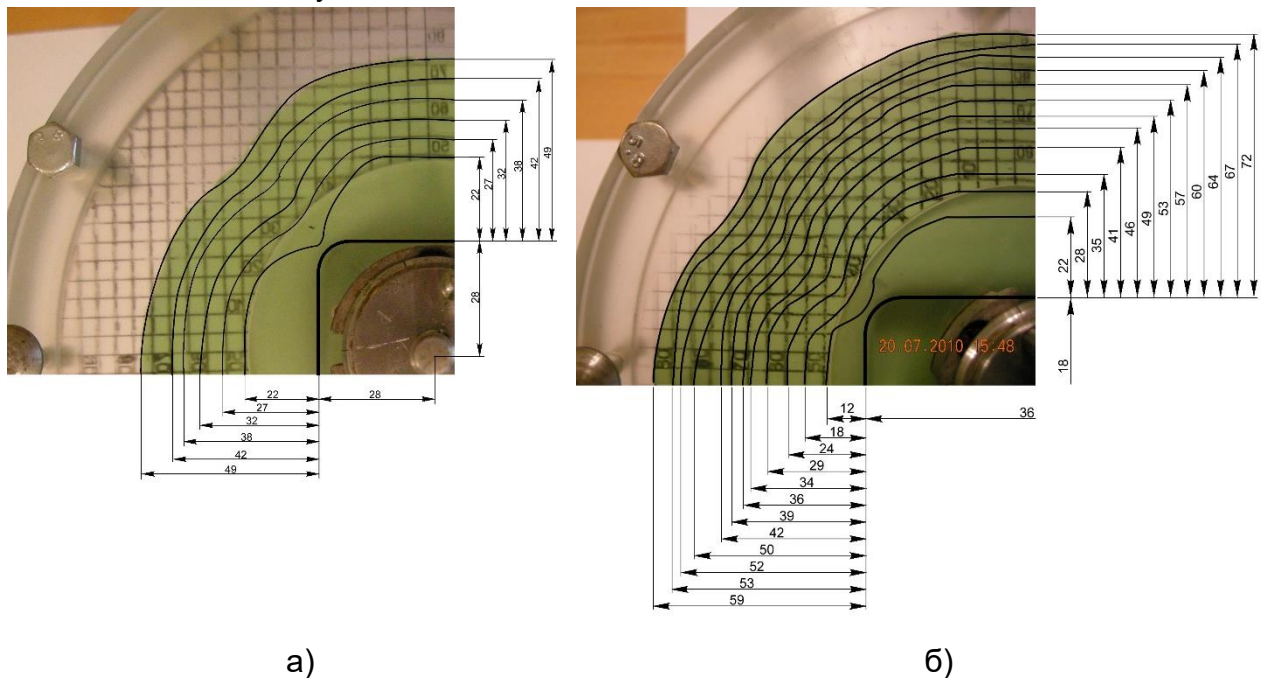
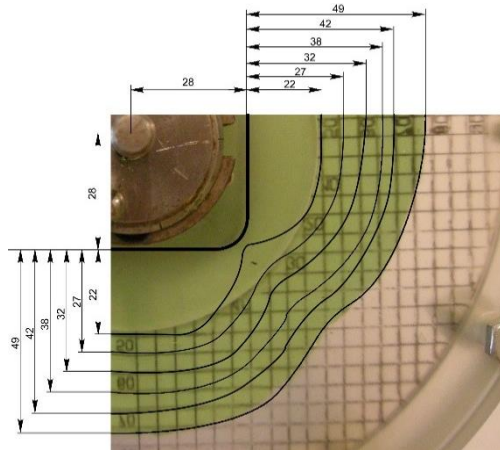
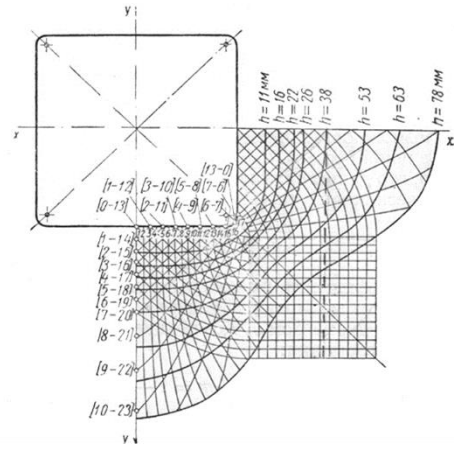


Рис. 13. Результати “зворотнього” витягування при різній глибині умовної коробчатої деталі: а – квадратної форми з розмірами у плані 56х56 мм; б – прямокутної форми з розмірами у плані 72х36 мм.



а)



б)

Рис. 14. Розміри і форма оптимальних заготовок для витягування квадратних коробок різної висоти: а) – отримані за допомогою пристрою для “зворотнього” витягування; б) – отримані за допомогою методу ліній ковзання.

При їх порівнянні звертає на себе увагу відмінність контурів раціональних заготовок для квадратних коробок різної висоти на початкових етапах витягування для відносно високих коробок та для відносно низьких коробок. Це можна пояснити різними підходами при отриманні раціональних контурів заготовок. У першому випадку – це аналогове моделювання, а у другому – це графоаналітичний метод побудови контурів заготовок. Хоча контури заготовок для витягування на подальших переходах для відносно середніх та високих коробчатих виробів майже ідентичні.

Перелік літературних джерел

1. Коваль В.В. Малоциклова втома елементів конструкцій з урахуванням пошкоджуваності : дис. ... канд. техн. наук. : 05.02.09 – динаміка та міцність машин / В. В. Коваль. - К., 2018. - 208 с.
2. Інструкція по застосуванню. Мікротвердомір ПМТ–3. - 17 с.
3. Гожій С.П. Дослідження процесу штампування обкочуванням та створення спеціалізованого обладнання : дис. ... канд. техн. наук. : 05.03.05 - процеси і машини обробки тиском / С.П.Гожій. – Л., 1990. - 364 с.
4. Інструкція по застосуванню. DMI ViCTORY Inverted Metallurgical Microscope. – 18 с.
5. Програмне забезпечення до металургійного мікроскопу DMI ViCTORY Inverted Metallurgical Microscope. – 46 с.
6. Холявік О.В. Розвиток аналітичного методу розрахунку розмірів і форми заготовок для витягування коробчастих виробів : дис. ... канд. техн. наук. : 05.03.05 - процеси і машини обробки тиском / О.В. Холявік. - К., 2013. - 244 с.
7. Первов М.Л. Современные методы исследований процессов ОМД. Учебное пособие / М.Л. Первов. РГАТУ им. П. А. Соловьева. – Рыбинск, 2017. – 48 с.