

Лабораторна робота № 5

КАЛІБРУВАННЯ І ПРОКАТУВАННЯ КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВКИ В СИСТЕМІ ДІАГОНАЛЬНИХ КАЛІБРІВ

5.1 Мета роботи

Освоїти один з методів розрахунку калібрування валків за системою ромб – квадрат і вивчити особливості деформації металу у цих калібрах.

5.2 Теоретичний вступ

Квадратні заготовки перетином менше $150 \times 150 \div 120 \times 120$ мм отримують зазвичай прокатуванням в системах витяжних діагональних калібрів, серед яких одним з найбільш поширених є система ромб – квадрат. У цій системі передбачається чергування квадратних і ромбічних калібрів. Штаба, що вийшла з більшого квадратного калібру, кантується на 90° і поступає в ромбічний калібр. Після виходу з ромбічного калібру штаба знову кантується на 90° і задається в менший квадратний калібр і так далі (рис. 5.1).

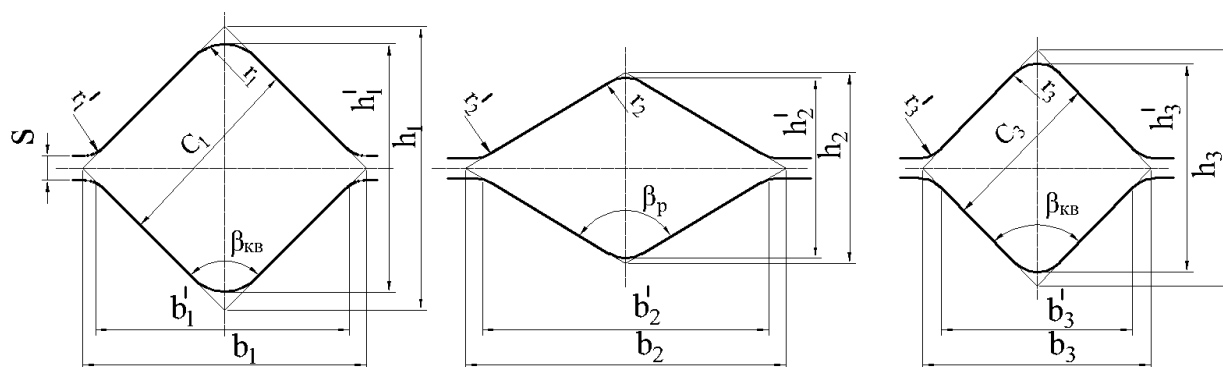


Рисунок 5.1 – Система витяжних калібрів ромб – квадрат

Система витяжних калібрів ромб – квадрат забезпечує достатньо високі коефіцієнти витяжки (до 1,6), хорошу стійкість штаби і отримання штаби правильної квадратної форми. Завдяки своїм перевагам система ромб – квадрат знайшла широке застосування на заготовочних станах, а також у чорнових клітках сортових станів.

Квадратні заготовки із стороною 50 – 150 мм зазвичай прокатують із застосуванням ромбічних калібрів, у яких кут при вершині ромба $\beta_p = 105 \div 115^\circ$, а малі квадрати із стороною 5 – 50 мм – із застосуванням ромбічних калібрів з $\beta_p = 110 \div 120^\circ$. Коефіцієнти витяжки у ромбічних калібрах μ_p для першого випадку складають 1,15 – 1,40, а в другому випадку 1,20 – 1,45.

На практиці іноді зустрічаються $\mu_p = 1,5 – 1,6$ при $\beta_p > 120^\circ$.

Коефіцієнти витяжки в ромбічному калібрі μ_p декілька вище, ніж в квадратному μ_{KB} , або вони можуть бути однаковими. Якщо позначити коефіцієнт

витяжки в парі калібрів (від квадрата до квадрата) $\mu_{p,k}$, то можна записати рівняння

$$\mu_{p,k} = \mu_p \cdot \mu_{кв} \quad (5.1)$$

При однакових коефіцієнтах витяжки в ромбічному і квадратному калібрах

$$\mu_p = \mu_{кв} = \sqrt{\mu_{p,k}} \quad (5.2)$$

При різних коефіцієнтах витяжки співвідношення їх для невеликих квадратів ($C < 40$ мм) може бути визначено за виразом (5.3):

$$m = \frac{\mu_{кв} - 1}{\mu_p - 1} = 0.9 \div 0.82 \quad (5.3)$$

Розрахунок витяжних калібрів за системою ромб – квадрат можна виконувати різними методами, які різняться в основному способами визначення розширення в ромбічних і квадратних калібрах і розмірами ромба.

5.3 Методика розрахунку

Визначення розмірів витяжних калібрів можна виконувати як по ходу прокатки, так і проти нього. До початку розрахунку відомі початкові розміри розкату, що задається, і отримуваної заготовки. При прокатуванні заготовки в системі ромбічних і квадратних калібрів початковою заготовкою є зазвичай квадрат із стороною C_0 , що задається в перший ромбічний калібр.

За заданими розмірами початкової (C_0) і отримуваної (C_3) заготовки встановлюється сумарний коефіцієнт витяжки

$$\mu_c = \frac{Q_0}{q_3} = \frac{C_0^2}{C_3^2} \quad (5.4)$$

де Q_0 і q_3 – площа поперечного перетину початкової і отримуваної квадратної заготовки, $мм^2$.

Виходячи із заданих розмірів отримуваної заготовки, прокатуваного металу і типу прокатного стану, вибирають середній коефіцієнт витяжки $\mu_{p,k}$ для пари калібрів від квадрата до квадрата. При його виборі можна орієнтуватися на графік, представлений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Графік для визначення $\mu_{p,k} = \mu_p \mu_{кв}$

Маючи на увазі, що

$$\mu_c = \mu_{p,k1} \cdot \mu_{p,k2} \dots \mu_{p,kn} = \mu_{p,k}^n \quad (5.5)$$

встановлюють число пар калібрів n_{Π} за виразом

$$n_{\Pi} = \frac{\lg \mu_c}{\lg \mu_{p,k}} \quad (5.6)$$

Отримане число n_{Π} округляють до найближчого цілого, після чого уточнюють середній коефіцієнт витяжки для кожної пари калібрів:

$$\lg \mu_{p,k} = \frac{\lg \mu_c}{n_{\Pi}} \quad (5.7)$$

Коефіцієнти витяжки в парах калібрів можуть бути однаковими:

$$\mu_{p,k1} = \mu_{p,k2} = \dots = \mu_{p,kn} = \mu_{p,k}^n \quad (5.8)$$

або різними, але завжди обов'язково повинна дотримуватися умова (5.5). Наприклад, іноді в перших по ходу прокатки калібрах коефіцієнти витяжки декілька знижують за умовами захвату металу валками; у інших випадках величина парного коефіцієнта витяжки визначається необхідністю отримання квадратної заготовки з проміжних квадратних калібрів. Можуть бути і інші причини, що впливають на розподіл коефіцієнтів витяжки по ходу прокатки. За відсутності таких обставин можна прийняти їх рівними.

Маючи значення парних коефіцієнтів витяжки $\mu_{p,k}$ і використовуючи вирази (5.1) і (5.3), встановлюють величину коефіцієнтів витяжки в ромбічних і квадратних калібрах.

Далі визначають площі калібрів по ходу прокатки (або проти нього):
площа першого ромбічного калібру

$$q_{p1} = \frac{Q_0}{\mu_{p1}} \quad (5.8)$$

площа другого квадратного калібру

$$q_{KB1} = \frac{q_{p1}}{\mu_{KB2}} \quad (5.8a)$$

і так далі.

Знаючи площі калібрів, встановлюють їх розміри.

Квадратні калібри будуються в більшості випадків з кутом при вершині 90° . Сторона квадрата

$$C = \sqrt{q_{KB}} \quad (5.9)$$

а вертикальні і горизонтальні діагоналі h_{KB} і b_{KB} (див. рис. 5.1):

$$h_{KB} = b_{KB} = \sqrt{2q_{KB}} = C\sqrt{2} \quad (5.10)$$

Для нормального виконання профілю необхідно в кожному калібрі мати достатній простір для розширення, тобто повинна виконуватися умова (див. рис. 5.1):

$$b_2 > h_1, \quad b_3 > h_2 \text{ і так далі.}$$

Виходячи з цього положення, розміри вертикальної діагоналі ромба (h_2 на рис. 5.1) можуть бути визначені через розширення при прокатуванні штаби в наступному квадратному калібрі:

$$h_2 = b_3 - \Delta b_3 \quad (5.11)$$

Так само повинна виконуватися умова

$$h_1 = b_2 - \Delta b_2 \quad (5.11)$$

Розширення в ромбічних і квадратних калібрах визначають за одним з відомих методів.

Оскільки між площею ромба q_p і його діагоналями b_p і h_p існує залежність

$$q_p = \frac{1}{2} b_p h_p \quad (5.12)$$

то, знаючи вертикальну діагональ ромбічного калібру h_p , неважко визначити і горизонтальну діагональ

$$b_p = \frac{2q_p}{h_p} \quad (5.13)$$

а потім співвідношення

$$\frac{b_p}{h_p} = \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \quad (5.14)$$

При проведенні даної роботи в лабораторії розрахунок калібрувальних даних має свої особливості. У валках лабораторного стану вже виконано декілька ромбічних і квадратних калібрів, розміри яких можуть декілька змінюватися лише за рахунок підйому верхнього валка (чим досягається декілька варіантів завдань), але оскільки кут при вершині ромба β_p вже заданий, то, отже, задано і співвідношення в діагоналях ромба.

Знаючи площу ромба q_p , визначену раніше за формулою (5.8) і використовуючи вирази (5.12) і (5.14), знаходять діагоналі ромба:

$$h_p = \sqrt{\frac{2q_p}{\operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}} \quad (5.15)$$

і

$$b_p = h_p \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \quad (5.16)$$

Тепер необхідно перевірити, чи забезпечують отримані розміри калібрів нормальне розширення металу в них. Цьому положенню відповідає умова:

$$b_2 - h_1 \geq \Delta b_2 \quad (5.17)$$

$$b_3 - h_2 \geq \Delta b_3 \quad (5.18)$$

де Δb_2 , Δb_3 – розширення металу відповідно в другому, третьому і решті калібрів, визначене по одному з відомих методів.

Д.І. Старченко рекомендує в цьому випадку підраховувати в ромбічних і квадратних калібрах так зване приведенне (усереднене) розширення за виразом:

$$\Delta b = \frac{\mu-1}{\sqrt{\mu}} \left[\sqrt{R_{cp} \cdot h_{cp} \cdot (\mu-1)} - \frac{h_{cp}}{2f} \cdot (\mu-1) \right] \quad (5.19)$$

де μ – коефіцієнт витяжки в даному калібрі;

$h_{cp} = \frac{q}{b}$ – середня товщина розкату в калібрі, мм;

$R_{cp} = 0,5 (D_0 - h_{cp})$ – середній катаючий радіус в калібрі, мм;

D_0 – відстань між осями валків, мм;

f – коефіцієнт тертя між металом і валками.

Якщо умова (5.17) не виконується, то необхідно провести корегування розмірів калібрів, змінивши коефіцієнти витяжки в них.

Діагональні витяжні ромбічні і квадратні калібри виконують із закругленням кута при вершині радіусом

$$r = 0,1 \div 0,2h \quad (5.20)$$

і по місцю роз'єму калібру

$$r' = 0,2 \div 0,5b \quad (5.21)$$

Отриманні розрахунком значення r і r' порівнюють з тими, що є на стані.

Розміри калібрів і їх площі q' з урахуванням фактичних радіусів закруглень при вершині і по місцю роз'єму встановлюють за співвідношеннями (див. рис. 5.1):

а) для квадратного калібру при $\beta_{\text{кв}} = 90^\circ$:

$$h' = h - 0,83r = 1,41 \cdot C - 0,83 \cdot r \quad (5.22)$$

$$b' = b \cdot s = 1,41 \cdot C - s \quad (5.23)$$

$$q' = q - 0,86 \cdot r^2 \quad (5.24)$$

б) для ромбічного калібру за табл. 5.1:

Таблиця 5.1 – Розміри і площі ромбічних калібрів з урахуванням закруглень

β_p , град	$tg \frac{\beta_p}{2}$	h' , мм	b' , мм	q' , мм ²
100	1,19	$h - 0,61r$	$b - 1,19s$	$q - 0,29r^2 - 0,59s^2$
105	1,3	$h - 0,52r$	$b - 1,30s$	$q - 0,23r^2 - 0,65s^2$
110	1,43	$h - 0,44r$	$b - 1,43s$	$q - 0,18r^2 - 0,72s^2$
115	1,57	$h - 0,37r$	$b - 1,57s$	$q - 0,14r^2 - 0,79s^2$
120	1,73	$h - 0,31r$	$b - 1,73s$	$q - 0,11r^2 - 0,87s^2$
125	1,92	$h - 0,26r$	$b - 1,92s$	$q - 0,085 r^2 - 0,96s^2$
130	2,15	$h - 0,21r$	$b - 2,15s$	$q - 0,05r^2 - 1,08s^2$

5.4 Методика виконання роботи

Для прокатки застосовувалася заготовка зі свинцю перетином 10×12 мм, завдовжки (L) 216 мм. Не дивлячись на те, що в розрахунках початкова заготовка приймалася перетином 12×12 мм, дослідна заготовка мала перетин 10×12 мм, що було обумовлене наявністю саме такого кокілю для литва свинцю. Кінцеві розміри заготовки – 7×7 мм. Прокатка здійснювалася шляхом послідовного проходження заготовки через 1 – 6 калібри. Лабораторний прокатний стан мав валки діаметром $D_0 = 50$ мм, система калібрування – «ромб – квадрат». Зазор між валками приймався рівним $s = 1$ мм (задається викладачем). Після кожного проходу штангенциркулем вимірювалися діагоналі квадрата і ромба, а також довжина

заготовки лінійкою. Дослідні дані заносилися до табл. 5.2. Розрахунок калібрування за вищенаведеною методикою здійснювався за допомогою комп'ютерної математичної програми Mathcad і приведений нижче. Розрахункові дані також заносилися до таблиці 5.2. На підставі розрахункових і дослідних даних, приведених в табл. 5.2, будувалися графіки, приведені на рис. 5.3 – 5.5.

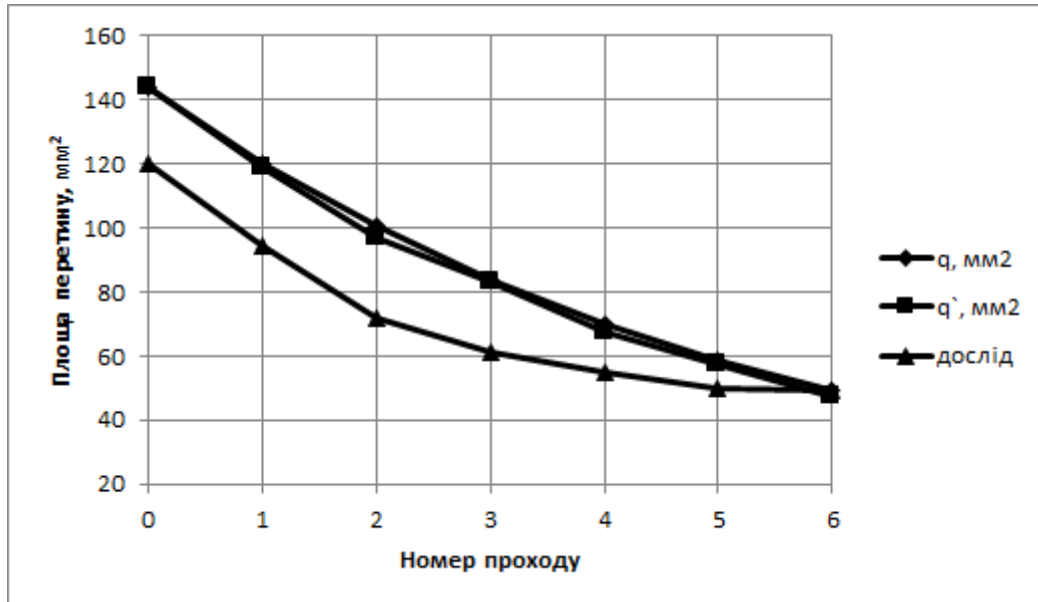


Рисунок 5.3 – Залежність площі поперечного перетину заготовки від номера проходу

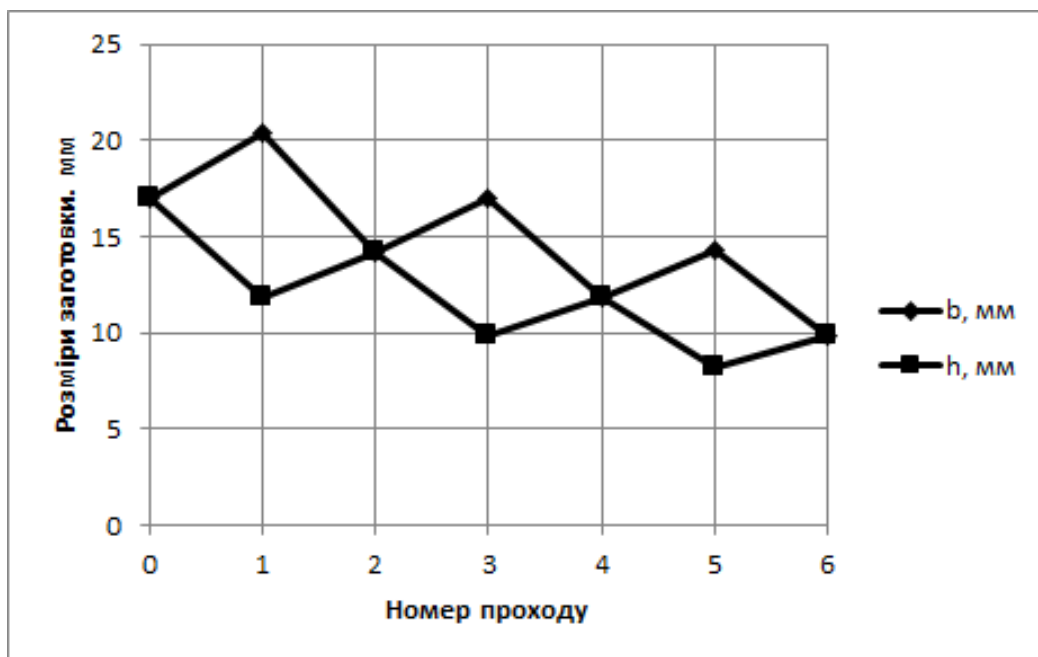


Рисунок 5.4 – Залежність розрахункових розмірів заготовки (рис. 5.1) від номера проходу

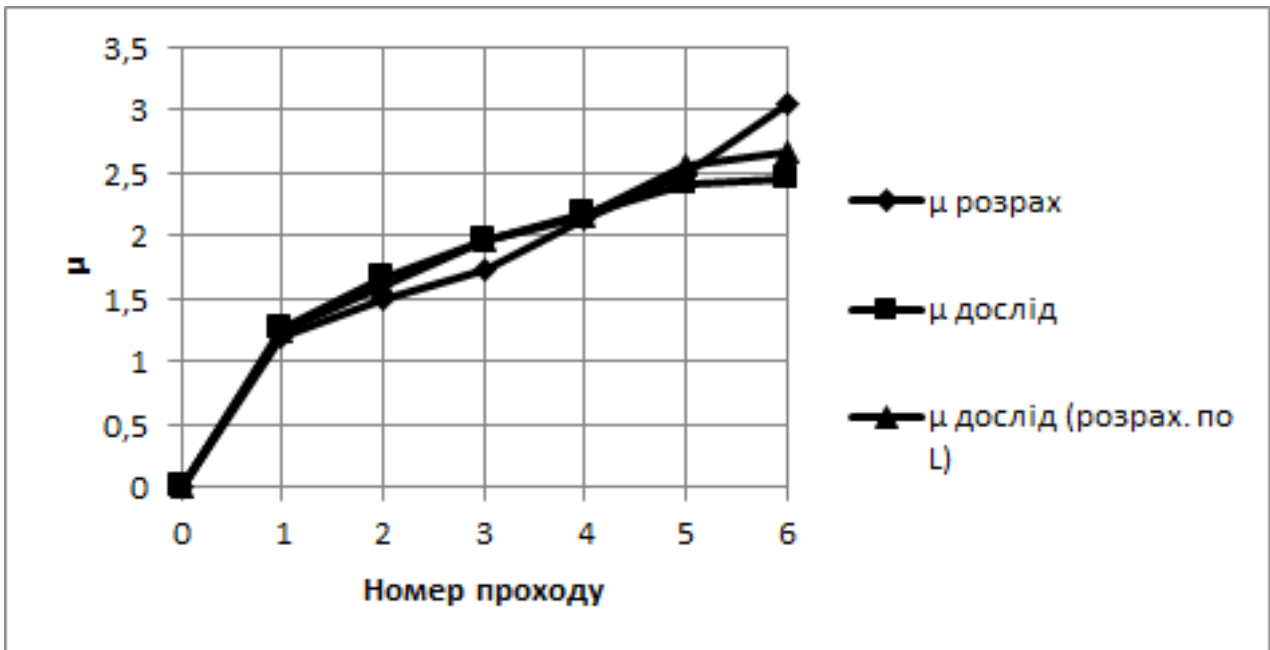
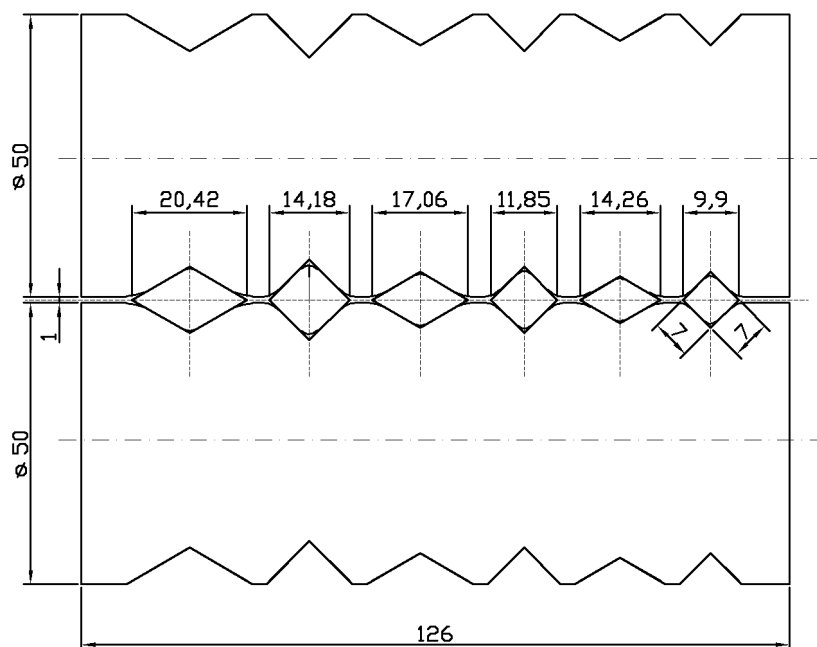


Рисунок 5.5 – Залежність сумарного коефіцієнту витяжки μ від номера проходу

На рис. 5.6 наведений ескіз розташування витяжних калібрів на валках лабораторного стану 50 і розміри калібрів, побудовані на підставі розрахункових даних, приведених в табл. 5.2.



M 1:1

Рисунок 5.6 – Розташування витяжних калібрів на валках лабораторного стану 50 і розрахункові розміри калібрів

5.5 Розрахунок сортових прокатних валків для прокатки квадратної заготовки в системі діагональних калібрів у програмному комплексі MathCAD

$$C_0 := 12$$

$$C_3 := 7$$

$$\mu_c := \frac{C_0^2}{C_3^2}$$

$$\mu_c = 2.939$$

$$\mu_{pk} := 1.5$$

$$n_{\Pi} := \frac{\log(\mu_c)}{\log(\mu_{pk})}$$

$$n_{\Pi} = 2.659$$

$$n_{\text{вал}} := 3$$

$$\log(\mu_{pk}) := \frac{\log(\mu_c)}{n_{\Pi}}$$

$$\log(\mu_{pk}) = \frac{\log(\mu_c)}{n_{\Pi}}$$

$$e^{\frac{\ln(\mu_c)}{n_{\Pi}}} = 1.432$$

$$\mu_{pk} := 1.432$$

$$\mu_p := \sqrt{\mu_{pk}}$$

$$\mu_p = 1.197$$

$$\mu_k := \sqrt{\mu_{pk}}$$

$$\mu_k = 1.197$$

$$Q_0 := C_0^2$$

$$Q_0 = 144$$

$$q_{p1} := \frac{Q_0}{\mu_p}$$

$$q_{p1} = 120.335$$

$$q_{KB2} := \frac{q_{p1}}{\mu_k}$$

$$q_{KB2} = 100.559$$

$$q_{p3} := \frac{q_{KB2}}{\mu_p}$$

$$q_{p3} = 84.033$$

$$q_{KB4} := \frac{q_{p3}}{\mu_k}$$

$$q_{KB4} = 70.223$$

$$q_{p5} := \frac{q_{KB4}}{\mu_p} \quad q_{p5} = 58.682$$

$$q_{KB6} := \frac{q_{p5}}{\mu_k} \quad q_{KB6} = 49.038$$

$$C_{KB2} := \sqrt{q_{KB2}} \quad C_{KB2} = 10.028$$

$$C_{KB4} := \sqrt{q_{KB4}} \quad C_{KB4} = 8.38$$

$$C_{KB6} := \sqrt{q_{KB6}} \quad C_{KB6} = 7.003$$

$$h_{KB2} := C_{KB2} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB2} = 14.182 \quad b_{KB2} := h_{KB2}$$

$$h_{KB4} := C_{KB4} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB4} = 11.851 \quad b_{KB4} := h_{KB4}$$

$$h_{KB6} := C_{KB6} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB6} = 9.903 \quad b_{KB6} := h_{KB6}$$

$$\beta_p := 120 \cdot \text{deg}$$

$$h_{p1} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p1}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p1} = 11.788 \quad b_{p1} := h_{p1} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p1} = 20.417$$

$$C_{p1} := \sqrt{\left(\frac{h_{p1}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p1}}{2}\right)^2} \quad C_{p1} = 11.788$$

$$h_{p3} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p3}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p3} = 9.851 \quad b_{p3} := h_{p3} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p3} = 17.062$$

$$C_{p3} := \sqrt{\left(\frac{h_{p3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p3}}{2}\right)^2} \quad C_{p3} = 9.851$$

$$h_{p5} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p5}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p5} = 8.232 \quad b_{p5} := h_{p5} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p5} = 14.258$$

$$C_{p5} := \sqrt{\left(\frac{h_{p5}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p5}}{2}\right)^2} \quad C_{p5} = 8.232$$

$$h_{cp1} := \frac{q_{p1}}{b_{p1}} \quad R_{cp1} := \frac{D_0 - h_{cp1}}{2} \quad D_0 := 50 \quad f := 0.2$$

$$\Delta b_1 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp1} \cdot h_{cp1} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp1}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_1 = 0.388$$

$$h_{cp2} := \frac{q_{KB2}}{b_{KB2}} \quad R_{cp2} := \frac{D_0 - h_{cp2}}{2}$$

$$\Delta b_2 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp2} \cdot h_{cp2} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp2}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_2 = 0.357$$

$$h_{cp3} := \frac{q_{p3}}{b_{p3}} \quad R_{cp3} := \frac{D_0 - h_{cp3}}{2}$$

$$\Delta b_3 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp3} \cdot h_{cp3} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp3}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_3 = 0.405$$

$$h_{cp4} := \frac{q_{KB4}}{b_{KB4}} \quad R_{cp4} := \frac{D_0 - h_{cp4}}{2}$$

$$\Delta b_4 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp4} \cdot h_{cp4} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp4}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_4 = 0.387$$

$$h_{cp5} := \frac{q_{p5}}{b_{p5}} \quad R_{cp5} := \frac{D_0 - h_{cp5}}{2}$$

$$\Delta b_5 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp5} \cdot h_{cp5} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp5}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_5 = 0.411$$

$$h_{cp6} := \frac{q_{KB6}}{b_{KB6}} \quad R_{cp6} := \frac{D_0 - h_{cp6}}{2}$$

$$\Delta b_6 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp6} \cdot h_{cp6} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp6}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_6 = 0.404$$

$$b_{KB2} - h_{p1} = 2.394 \quad \text{бі льше } \Delta b_2$$

$$b_{p3} - h_{KB2} = 2.88 \quad \text{бі льше } \Delta b_3$$

$$b_{KB4} - h_{p3} = 2 \quad \text{бі льше } \Delta b_4$$

$$b_{p5} - h_{KB4} = 2.407 \quad \text{бі льше } \Delta b_5$$

$$b_{KB6} - h_{p5} = 1.672 \quad \text{більше } \Delta b_6$$

$$r_{p1} := 0.15 \cdot h_{p1} \quad r_{p1} = 1.768$$

$$r'_{p1} := 0.35 \cdot b_{p1} \quad r'_{p1} = 7.146$$

$$r_{KB2} := 0.15 \cdot h_{KB2} \quad \overset{i}{r_{KB2}} = 2.127$$

$$r'_{KB2} := 0.35 \cdot b_{KB2} \quad r'_{KB2} = 4.964$$

$$r_{p3} := 0.15 \cdot h_{p3} \quad r_{p3} = 1.478$$

$$r'_{p3} := 0.35 \cdot b_{p3} \quad r'_{p3} = 5.972$$

$$r_{KB4} := 0.15 \cdot h_{KB4} \quad r_{KB4} = 1.778$$

$$r'_{KB4} := 0.35 \cdot b_{KB4} \quad r'_{KB4} = 4.148$$

$$r_{p5} := 0.15 \cdot h_{p5} \quad r_{p5} = 1.235$$

$$r'_{p5} := 0.35 \cdot b_{p5} \quad r'_{p5} = 4.99$$

$$r_{KB6} := 0.15 \cdot h_{KB6} \quad r_{KB6} = 1.486$$

$$r'_{KB6} := 0.35 \cdot b_{KB6} \quad r'_{KB6} = 3.466$$

а) для квадратного кал бра при

$$\beta_{KB} := 90 \text{ deg}$$

$$h'_{KB2} := h_{KB2} - 0.83 \cdot r_{KB2} \quad h'_{KB2} = 12.416$$

$$h'_{KB4} := h_{KB4} - 0.83 \cdot r_{KB4} \quad h'_{KB4} = 10.376$$

$$h'_{KB6} := h_{KB6} - 0.83 \cdot r_{KB6} \quad h'_{KB6} = 8.67$$

$$s := 1$$

$$b'_{KB2} := b_{KB2} - s \quad b'_{KB2} = 13.182$$

$$b'_{KB4} := b_{KB4} - s \quad b'_{KB4} = 10.851$$

$$b'_{KB6} := b_{KB6} - s \quad b'_{KB6} = 8.903$$

$$q'_{KB2} := q_{KB2} - 0.86 \cdot r_{KB2}^2 \quad q'_{KB2} = 96.667$$

$$q'_{KB4} := q_{KB4} - 0.86 \cdot r_{KB4}^2 \quad q'_{KB4} = 67.505$$

$$q'_{KB6} := q_{KB6} - 0.86 \cdot r_{KB6}^2 \quad q'_{KB6} = 47.14$$

б) для ромбічного калібра при

$$\beta_{\text{ром}} := 120 \cdot \text{deg}$$

$$h'_{p1} := h_{p1} - 0.31 \cdot r_{p1} \quad h'_{p1} = 11.24$$

$$h'_{p3} := h_{p3} - 0.31 \cdot r_{p3} \quad h'_{p3} = 9.392$$

$$h'_{p5} := h_{p5} - 0.31 \cdot r_{p5} \quad h'_{p5} = 7.849$$

$$b'_{p1} := b_{p1} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p1} = 18.687$$

$$b'_{p3} := b_{p3} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p3} = 15.332$$

$$b'_{p5} := b_{p5} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p5} = 12.528$$

$$q'_{p1} := q_{p1} - 0.11 \cdot r_{p1}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p1} = 119.121$$

$$q'_{p3} := q_{p3} - 0.11 \cdot r_{p3}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p3} = 82.922$$

$$q'_{p5} := q_{p5} - 0.11 \cdot r_{p5}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p5} = 57.644$$

