

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ КАЛІБРУВАНЬ ВАЛКІВ РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.1 Вимоги до калібрування валків

У двохвалковій кліті калібр як правило утворюється двома рівчаками, врізаними в тіло валка, вертикальні осі яких розташовані в одній площині. На рис. 1.1. зображено валковий вузол з овальним, квадратним і ромбічним калібрами. Кожен калібр складений двома рівчаками, які врізані у верхній і нижній валки. Сусідні два калібри мають різні форми і розміри. Причому, для здійснення витягання металу, площа поперечного перерізу подальшого калібру завжди менше площі попереднього калібру.

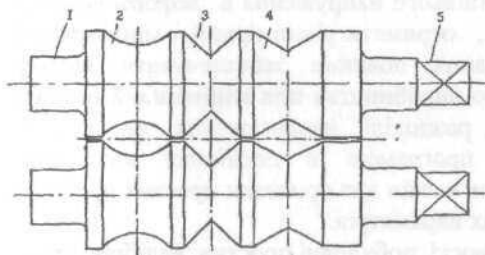


Рисунок 1.1 - Валки сортового стану:

- 1 - шийка;
- 2-4 - калібри;
- 5 - хвостовик.

Розкат після виходу, наприклад, з овального калібру задається в подальший квадратний калібр з кантуванням на 90° . При цьому висота заготовки (овалу) завжди більша, а ширина менша, ніж, відповідно, висота і ширина наступного квадратного калібру. Це забезпечує в калібрі задане обтиснення і необхідний простір на поперечну течію (розширення) металу. Тобто дотримується умова:

$$H > h; \quad B < b,$$

де H і B – висота і ширина заготовки, що входить в калібр; h і b – висота і ширина калібру.

Застосовують також калібри закритого типу, утворюванні одним рівчаком і буртом. Ряд послідовно розташованих калібрів складає систему калібрування для прокатки профілю. Розміри калібрів визначають розрахунковим шляхом, про що буде доведено нижче. Правильно сконструйоване калібрування повинне забезпечувати [1-3] необхідні розміри готового профілю, високу якість поверхні профілю, максимальну продуктивність

стана, мінімальну нерівномірність зносу валків, зручне обслуговування стана.

Проте необхідні (точні) розміри профілю по висоті і ширині на практиці отримують додатковим налаштуванням розмірів чорнових, передчистових і чистових калібрів шляхом регулювання положення одного з валків (верхнього) кліті, дотриманням заданих температурного і швидкісного режимів прокатки, стабільного натягнення розкату на неперервному стані.

Висока якість поверхні прокату досягається раціональним режимом нагріву заготовок, раціональними розподілом витягань по калібрах і формою використовуваних калібрів. Головна умова отримання максимальної продуктивності стана - застосування заготовок підвищеної маси, максимальних кутів захвату і коефіцієнтів витягань, а також системи калібрування, яке в чорнових клітках може бути використане для прокатки інших профілів. Мінімальна нерівномірність зносу по ширині валків забезпечується при використанні калібрів, подібних по своїй формі і плавних по контуру (овал - ребровою овал, овал - круг, овал - овал).

1.2 Елементи калібрів

У практиці прокатного виробництва застосовують прості і складні калібри різної форми [1-17,22,23 та ін.]. Деякі з них показані на рис.1.2; 1.3 та ін. Ящичний калібр (рис.1.3) має дно і бічні стінки, нахилені до вертикалі на кут $\varphi = 2...25^\circ$. Між валками є зазор S , який потрібний для регулювання висотних розмірів розкату в процесі налаштування або після зносу, мм:

$$S = (0,005...0,02) D_6,$$

де D_6 – діаметр валків стана по буртах. Кут (випуск калібру) визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \varphi = cd/ca = (b - b_d) / h_k.$$

Внаслідок нахилу бічних стінок ширина b_d дна калібру менше ширини b у розняття. Кути рівчаків округляють на радіус $r = (0,10...0,15) h_k$, де h_k – глибина урізання калібру у валках на діаметр. За наявності закруглень в кутах калібру зменшується концентрація напружень вигину в перерізах валка в місцях переходу. Тупі кути сприяють рівномірній деформації металу і

зменшенню утворення дефектів поверхні розкату. Проміжок і радіус закруглень визначаються діаметром валків, хімічним складом металу і іншими особливостями технологічного процесу.

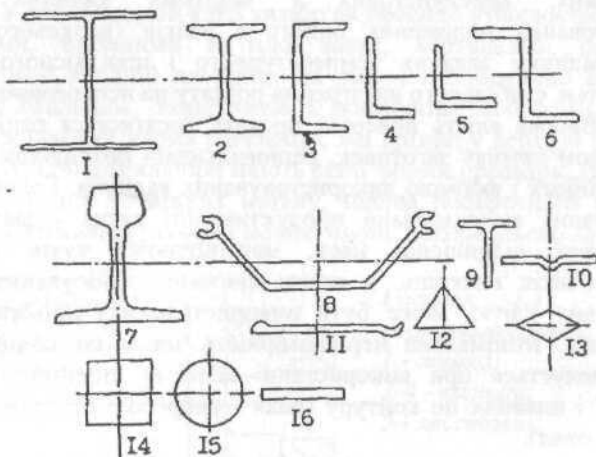


Рисунок 1.2 - Прості і фасонні профілі прокату:

1 - широкополочна балка; 2 - стандартна балка; 3 - швелер; 4 - нерівносторонній куток; 5 - рівносторонній куток; 6 - зетовий профіль; 7 - рейка; 8 - шпунтовий профіль; 9 - тавровий профіль; 10 - ресорна штаба; 11 - автообід; 12 - тригранний профіль; 13 - ромб; 14 - квадрат; 15 - круглий; 16 - штабовий вузький профіль.

Дно калібру має опуклість 2...5 мм, яка забезпечує стійкість розкату на рольганги і зменшує можливість переповнювання металом (утворення лампасів) при прокатуванні профілю в наступному калібрі. Нахил бічних стінок зношеного калібру дозволяє відновлювати при переточуванні на вальцетокарних верстатах його початкові розміри по ширині (рис.1.3).

Пояснимо деякі положення, висловлені вище. На рис. 1.4 показані схеми ящикних калібрів з паралельними (а) і похилими стінками (б). Калібри побудовані по конструкційних точках без урахування закруглень в кутах (так званий "скелет" калібру). Під час прокатки за схемою (а) кінцева ширина калібру має розмір

b – однаковий по висоті рівчака. Внаслідок зносу ширина калібру b більша початкової ширини ($b_2 > b$) і відновити початкову ширину калібру шляхом переточування неможливо.

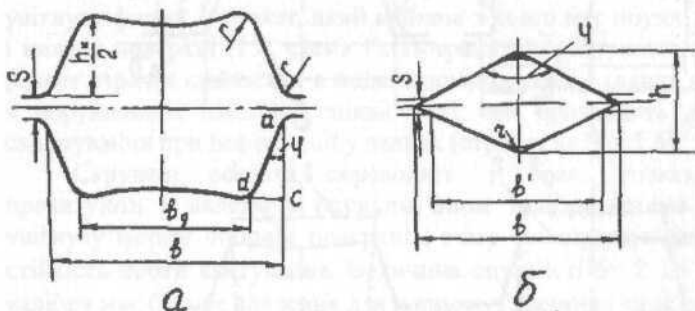


Рисунок 1.3 - Яцичний (а) і ромбічний (б) калібри

Це перший основний недолік по рис.1.4,а. Крім того, контур зносу 2 нерівномірний по висоті калібру, що обумовлює затискання розкату в калібрі і можливість оковування валка. Останнє призводить до аварійної ситуації і зупинки стана.

За наявності похилих бічних стінок калібру (рис.1.4,б) ширина і висота калібру повністю відновлюються шляхом зменшення діаметру валка на величину переточування

$$\Delta D = D_6 - D'_6$$

де D'_6 - діаметр валка по буртах після переточування

При цьому, чим більше кут ϕ нахилу стінки, тим менше зменшиться діаметр валка за одне переточування. З урахуванням того, що в чорнових калібрах допускається знос більше, ніж в чистових, то в чорнових калібрах кут складає $\phi = 10...25^\circ$. Величина переточування діаметру, що допускається, складає 8...10%. Подальше зменшення діаметру валків недоцільне, оскільки застосування валків невеликого діаметру знижує їх міцність і швидкість валків (при постійному числі оборотів валків) і продуктивність стана.

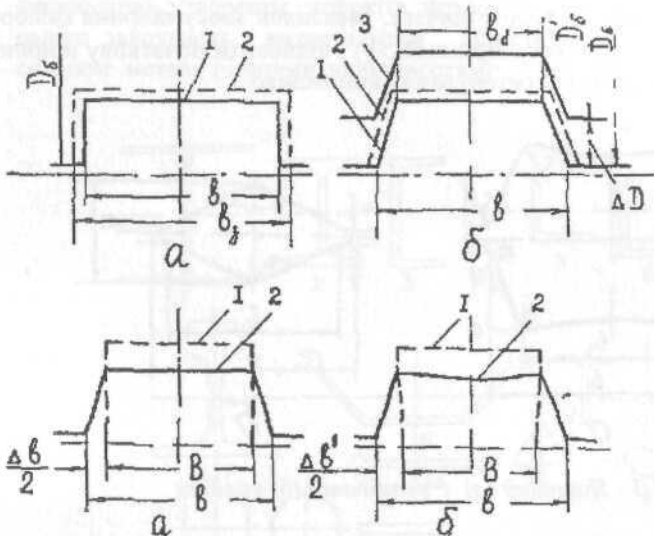


Рисунок 1.4 - Ящичний калібр з паралельними (а) і похилими (б) стінками: Контур: 1-новий; 2-після зносу; 3- після переточування

Рисунок 1.5 - Прокатка в ящичному калібрі: 1 - заготовка; 2 - калібр (а - заготовка з паралельними бічними поверхнями; б - заготовка з увігнутими бічними поверхнями)

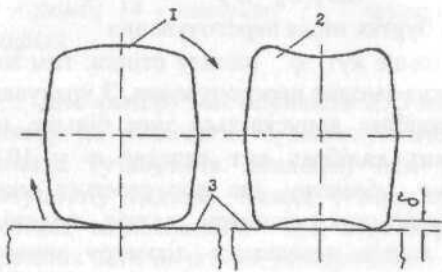


Рисунок 1.6 - Розкат після прокатки в ящичному калібрі і кантування:

1 - з початковим плоским, але зношеним, дном; 2 - з опуклим дном; 3 - ролик рольганга

Застосування опуклого дна ящичного калібру доцільне з кількох причин. По-перше, після кантування розкату на 90° для прокатування в наступному калібрі, увігнуті бічні поверхні (схема (рис.1.5,б) забезпечує більший простір на розширення металу

($\Delta b' > \Delta b$). Це запобігає переповнюванню калібру з виходом металу в зазор і утворення лампаса, що можливо при прокатуванні в калібрі за схемою "а", де прямі бічні поверхні заготовки.

По-друге, плоске дно калібру в результаті зносу отримує увігнуту форму, а розкат, який вийшов з нього має опуклі верхню і нижню поверхні (1.6, схема 1). Потрапляючи на рольганг такий розкат втрачає стійкість і в подальшому проході входить в калібр з порушенням взаємної співвісності, що призводить до його скручування при деформації у валках (стрілки на рис.1.6).

Скручені розкати переводять у брак. Розкат, який прокатують в калібрі з опуклим дном калібру (схема 2) має увігнуту форму опорної поверхні і тому він отримує необхідну стійкість проти кантування. Величина опуклості $\delta = 2 \dots 5$ мм дна калібру має більше значення для чорнових ящичних калібрів.

У ромбічному калібрі (рис.1.3, б) є тільки похилі стінки, що утворюють кут $\varphi = 110 \dots 120^\circ$. Розміри ромбічного розкату $b_{\text{п}}$ можуть дорівнювати ширині калібру $b_{\text{к}}$ або менше. Кути при вершині ромба округляють радіусом r . Відношення $b_{\text{п}}/b_{\text{к}}$ називають мірою заповнення калібру металом. При $b_{\text{п}}/b_{\text{к}} = 0,87 \dots 0,97$ відсутнє переповнення калібру металом і утворення задирки. Кут нахилу стінок ромбічного калібру обумовлений розмірами розкату і величиною витягання. При цьому, чим менше розміри розкатів і передбачаються великі значення коефіцієнта витягання в системі калібрування ромб-квадрат, тим більшим має бути кут φ ($\varphi = 110 \dots 120^\circ$).

1.3 Призначення, форми і типи калібрів

За призначенням калібри можна розділити на обтискні ящичні калібри і чорнові ящичні калібри, які використовують на блюмінгах і заготовочних станах, після яких розташовують **чорнові витяжні: овальні, квадратні, ромбічні та ін. прості і фасонні калібри**), **передчистові** калібри, що мають форму і розміри, досить близькі до готового профілю і **чистові**, розміри і форма яких повністю відповідають готовому профілю.

Калібри мають *просту і фасонну* форми. До калібрів простої форми відносять калібри, що мають вертикальну і горизонтальну осі симетрії (*круг, овал, квадрат, ромб*). Калібри, в яких

прокатують рейки, балки, швелери, шпунтові палі, зетові, віконорамні і подібні до них профілі, є фасонними (рис. 1.2).

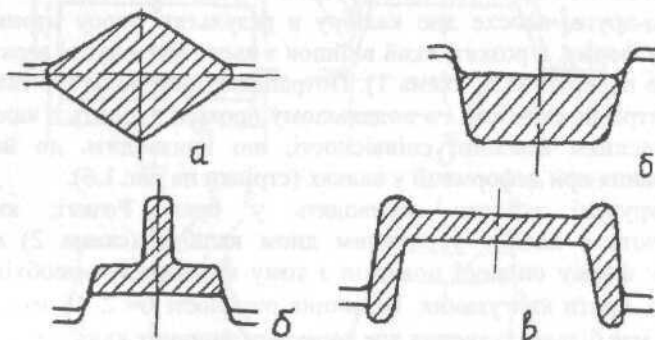


Рисунок 1.7- Типи калібрів : а - відкритий; б - закритий; в - напівзакритий

На рис.1.7 показані деякі типи відкритих і закритих калібрів. Відкриті калібри утворені двома рівчачками (рис.1.7,а) і зазор між валками розташований в площині калібру. Закриті калібри утворені рівчачком і буртом (рис.1.7,б) і зазор між валками розташований поза площиною профілю. Калібр швелерного типу (рис.1.7,в), в якому фланці частково розміщені в одному (нижньому) валку, називаються напівзакритими. Закриті і напівзакриті калібри застосовують для отримання точних розмірів профілів.

Системи витяжних калібрів простої форми і їх характеристика

Розглянемо наступні системи калібрувань: *ящичну* (прямокутню); *прямокутник - гладка бочка*; *овал - квадрат*; *ромб - квадрат*; *овал - ребровий овал*; *універсальну*; *гладка бочка - гладка бочка*. Використання тієї або іншої системи калібрування обумовлене типом стана, формою готової продукції, матеріалом профілю. Необхідно пам'ятати, що практично в усіх випадках прокатки при завданні розкату в наступний калібр виконують його кантування. Це необхідно для отримання висотної

деформації розкату при дотриманні приведеної вище умови: $H > h$;
 $B < b$.

Система ящичних калібрів

Ця система містить ряд послідовно розташованих ящичних (прямокутних) калібрів з послідовним зменшенням площі поперечного перерізу (рис.1.8). Її застосовують на обтискних (блюмінгах) і заготовочних станах неперервного і лінійного типів. На валках блюмінга врізають 4-5 калібрів і в кожному з них здійснюють декілька проходів (1 - 6). При передачі в наступний калібр розкат кантують на 90° . На неперервно-заготовочному стані (НЗС) і лінійному заготовочному стані в кожному калібрі розкат прокатують в один прохід. Ящичні калібри мають невелике урізання рівчака у валки і, отже, підвищену їх міцність, рівномірне обтиснення по ширині розкату, а похилі стінки сприяють збільшенню граничного кута захвату розкату валками і величин обтиснення. .

В цілях запобігання утворенню лампасів ширина калібру у проміжку повинна складати, мм:

$$b = B + \Sigma \Delta b + (5 \dots 10), \quad (1.1)$$

де B – ширина розкату до прокатки; $\Sigma \Delta b$ – сумарне розширення в усіх проходах в цьому періоді кантування.

Прокатка в ящичних калібрах характеризується великими кутами захвату ($\alpha = 20 \dots 30^{\circ}$) і, отже, значними абсолютними обтисненнями ($\Delta h = 80 \dots 120$ мм) за один прохід. Глибина урізування калібру (h_k) на діаметр визначається відповідно до його призначення. Чим менше співвідношення сторін (H/B) розкату, що задається в калібр, тим менше глибина урізування, що важливо з точки зору збільшення діаметру і, отже, міцності валка.

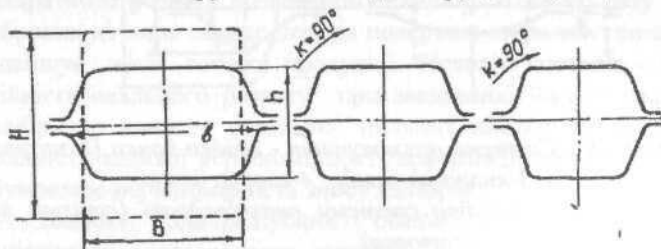


Рисунок 1.8 - Ящична система калібрів

За даними Б.П. Бахтинова і М.М. Штернова [3] при $H/B < 1,2$ глибина урізування мінімальна ($h_k = 70 \dots 80$ мм для гладкої бочки), а на слябінгу застосовують гладкі валки з $h_k = 0$. При прокатуванні розкатів з відношенням $H/B > 1,2$ висота урізування калібру валків блюмінга може бути визначена за співвідношенням (окрім першого калібру-гладкої бочки):

$$h_k = (0,15 \dots 0,18) D_b.$$

І.Я. Тарновській та ін. [2] рахують допустимим використання наступної залежності

$$h_k = 0,3b_d + 90.$$

Система прямокутник - гладка бочка

Цю систему застосовують в чорнових клітях неперервних і лінійних сортових станів, а також в чорнових клітях станів з послідовним розташуванням клітей (рис.1.9).

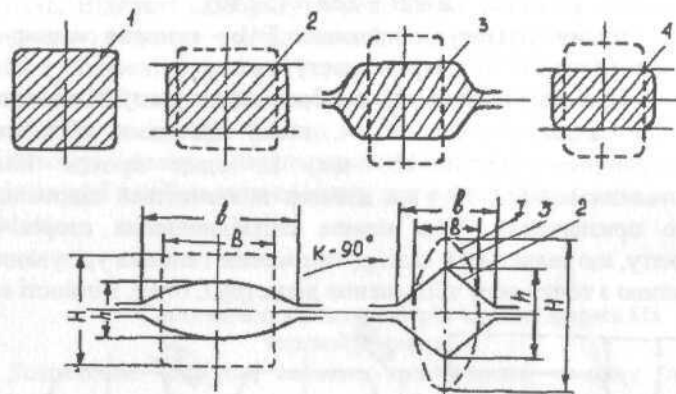


Рисунок 1.9 - Система прямокутник - гладка бочка (1-заготовка; 2-гладка бочка; 3-ящичний калібр; 4-гладка бочка)

Рисунок 1.10 - Калібри системи овал-квадрат (суцільні лінії - калібр; пунктирні - заготовка)

Вона дуже зручна для прокатки різних профілірозмірів готової продукції. У цій системі, як правило, передбачають кантування розкату після кожного проходу. Коефіцієнти витягань і допустимі кути захвату в ящичних калібрах на 10...15% більше, ніж в гладких валках. Внаслідок більшого розширення ефективність прокатки в гладких валках дещо менша. У цій системі калібрування глибина урізування чорнового ящичного калібру у валках дорівнює $-h_k = h - S$.

Зазор між валками S приймають рівним 6...25 мм і більше з урахуванням особливостей прокатки металу.

Система овал - квадрат

Систему овал – квадрат широко застосовують на станах лінійного (старого) типу. Вона забезпечує інтенсивну деформацію металу (рис.1.10). Відношення розмірів осей овалу зазвичай приймають рівним $b/h = 2...3$. Більші значення b/h забезпечують і великі величини витягань (обтиснень), але при цьому погіршуються умови захвату розкату валками. У зв'язку з цим для великих розмірів овалів значення b/h зменшують. При прокатуванні трубної заготовки ($d > 80...100$ мм) відношення діагоналей овалів знаходиться в межах $b/h = 1,3...1,6$.

Коефіцієнти витягань в квадратних калібрах $\mu_{кв} = 1,2...1,5$, а в овалах $\mu_{ов} = 1,3...2,0$. Більше витягання в овальному калібрі забезпечується більшою шириною розкату, що прокатується в нім, і наявності меншого розширення. Не велике урізування рівчачка овального калібру у валки, забезпечуючи міцність валка, також дозволяє робити в нім інтенсивне обтиснення. При прокатуванні квадратного розкату в овальному калібрі кожного разу метал з ребрових ділянок переходить на поверхню овального розкату, що підвищує якість готової продукції. Недолік системи - недобра стійкість овального розкату при завданні його в квадратний калібр, що вимагає установки щільних лінійок перед валками. Наявність великої нерівномірності деформації по ширині розкату обумовлює нерівномірність зносу калібрів.

Замість однорадіусних овалів в деяких випадках раціонально застосовувати системи: шестикутник - квадрат і плоский овал-круг (рис.1.11,а,б). У шестикутному калібрі

параметр $m = 0,4b$. Окремим випадком є шестикутний калібр, в якому бічні стінки нахилені на кут 45° . В цьому випадку $m = b - 1,41 \cdot h_k$, а в плоскому овалі радіус $r = h_k/2$ і параметр $m = b - h_k$. У цих системах підвищується стійкість, заготовок, що входять в калібр, і зменшується нерівномірність деформації по ширині калібрів. При прокатуванні в системі овал-квадрат (рис.1.10) коефіцієнт витягання в овальному калібрі завжди більший, ніж в квадратному. Співвідношення між коефіцієнтами витягання в квадратному і овальному калібрах на основі рекомендацій [1] визначається так:

$$\mu_{\text{кв}} = 1 + (0,3 - 0,35) (\mu_{\text{п}} - 1);$$

$$\mu_{\text{ов}} = 1 + (0,6 - 0,50) (\mu_{\text{п}} - 1),$$

де $\mu_{\text{кв}}$ і $\mu_{\text{ов}}$ - коефіцієнти витягання відповідно в квадратному і овальному калібрах; $\mu_{\text{п}}$ - коефіцієнт витягання в парі калібрів. .

Коефіцієнт витягання в парі сусідніх калібрів рівний ($\mu_{\text{п}}$)

$$\mu_{\text{п}} = \mu_{\text{кв}} \cdot \mu_{\text{ов}}; \quad \mu_{\text{кв}} = \mu_{\text{п}} / \mu_{\text{ов}}; \quad \mu_{\text{ов}} = \mu_{\text{п}} / \mu_{\text{кв}}.$$

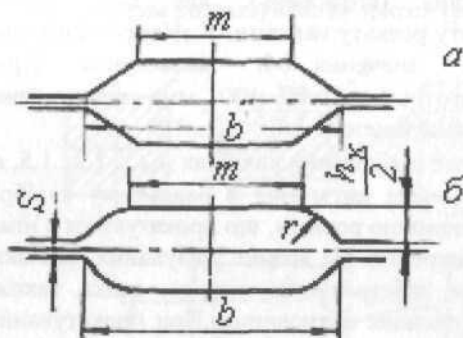


Рисунок 1.11. Калібри:
а - шестикутник;
б - плоский овал

Система ромб – квадрат

Систему ромб-квадрат (рис.1.12) використовують для прокатки квадратних профілів на неперервно-заготовочних станах. Для цієї системи характерні порівняно невеликі коефіцієнти витягань. При цьому внаслідок більшої ширини ромба, коефіцієнт витягання в нім дещо більше, ніж в квадратному калібрі. Проте в

практичних розрахунках коефіцієнти витягань в калібрах цієї системи приймають однаковими в межах $\mu=1,2...1,4$.

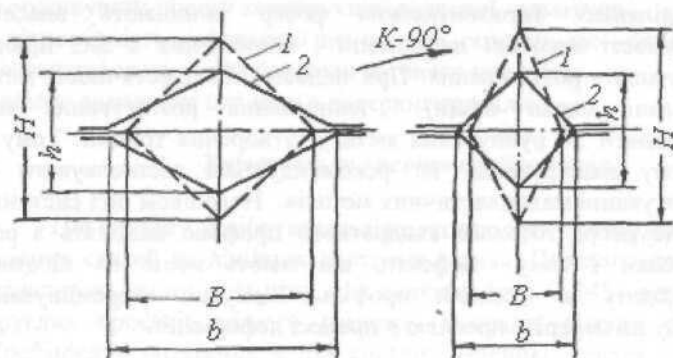


Рисунок 1.12 - Система калібрів ромб – квадрат

Кут при вершині ромба складає $100...120$ ($b/h=1,2...1,4$), а в чистовому квадратному калібрі $\sim 88^\circ$. Це необхідно для отримання кута квадрата при вершині рівним 90° після його охолодження.

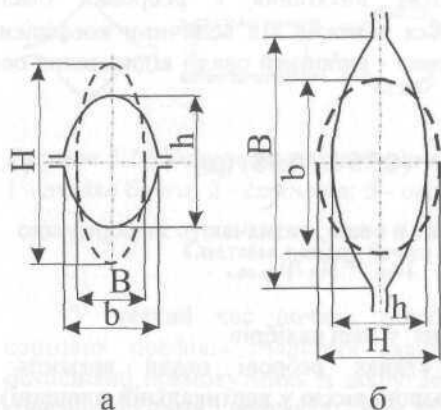


Рисунок 1.13- Система калібрів: а - овал - ребровий овал; б - ребровий овал-овал

Нахилені бічні стінки калібрів стримують поперечну течію металу і зменшують розширення металу в порівнянні з прокаткою в гладких валках при одній і тій же середній висотній деформації. Незважаючи на недоліки ця система калібрування широко застосовується на станах різного типу. Проте при

прокатуванні розкатів в цій системі горизонтальні ребра не піддаються деформації, більше охолоджуються і на них можуть з'являтися дефекти у вигляді заходів і тріщин. Поперечні тріщини на ділянках горизонтальних ребер виникають внаслідок відсутності висотної деформації і виникнення з цієї причини напруження розтягування. При недостатній пластичності металу (леговані марки сталі) напруження розтягування може призводити до руйнування металу, утворення тріщин. Тому цю систему калібрування не рекомендується застосовувати при прокатуванні малопластичних металів. Недоліком цієї системи є і те, що ребра готового квадратного профілю виходять з ребер заготовки і тому дефекти, що мають місце на заготовці, переходять на готовий профіль. Відсутнє «перемішування» металу по перерізу профілю в процесі деформації.

Система овал - ребровий овал

Система уперше була застосована на неперервному дрібносортовному стані Макіївського металургійного заводу (рис.1.13). Реброві овали застосовують із співвідношенням діагоналей $h/b = 1,1...1,4$, а відношення осей овалу - $b/h = 2...3$. При цьому, чим більше розміри ребрового овалу, тим менше відношення h/b . Коефіцієнт витягання в ребрових овалах ($\mu_{р.ов}=1,2...1,4$) і визначається залежно від величини коефіцієнта витягання в парі калібрів овал - ребровий овал і відношення осей овалу b/h за формулою

$$\mu_{р.ов} \approx 1 + (0,35 \dots 0,38) (\mu_{п} - 1). \quad (1.2)$$

Коефіцієнт витягання в овалі, визначають за формулою

$$\mu_{ов} = \mu_{п} / \mu_{р.ов},$$

де $\mu_{п}$ – коефіцієнт витягання у парі калібрів

На неперервних станах реброві овали врізають в горизонтальні валки (з більшою віссю у вертикальній площині), а однорадіусні – у вертикальні валки (меншою віссю у горизонтальній площині). Ця система має наступні переваги в порівнянні з розглянутими вище:

- надійний захват розкату валками на великих швидкостях прокатки;
- самоцентрування ребрового овалу в овалі, що дозволяє застосовувати просту конструкцію валкової арматури
- рівномірність деформації по ширині розкату, що сприятливо позначається на якості поверхні готового профілю;
- якісне видалення окалини з поверхні профілю.

Універсальна система калібрування

Цю систему калібрування використовують при прокатуванні якісних сталей на лінійних сортових станах. Переваги системи - можливість зміни проміжку між валками (рис. 1.14) і отримання круглих профілів різного діаметру з овалів різного розміру. Коефіцієнти витягання в цій системі невеликі: гладка бочка - $\mu = 1,1 \dots 1,2$; сходинка - $\mu = 1,2 \dots 1,25$. Застосування невеликих витягань забезпечує збереження цілісності малопластичного матеріалу при прокатуванні. У цій системі, змінюючи висоту калібрів, прокатують різні, але близькі по розмірах, круглі профілі.

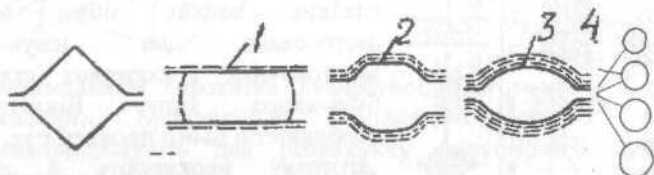


Рисунок 1.14 Універсальна система калібрування валків :
1 - гладка бочка; 2 - сходинка; 3 - овал; 4 - круг

Система гладка бочка – гладка бочка

У деякий час почали широко застосовувати прокатку сортових профілів гладкими валками [4]. Суть її полягає в обтисненні прямокутника із закругленими кромками попеременно горизонтальними і вертикальними валками без калібрів або тільки горизонтальними валками з кантуванням розкату на 90° після кожного проходу. У останній, чистовій, кліті є калібр за формою готового прокату.

356784

Послідовність проходів показано на рис.1.15. Застосування процесу прокатки в гладких валках дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи неперервного стана, : підвищити використання робочій поверхні валків на 20...30%; збільшити вихід придатного металу в результаті виключення дефектів, пов'язаних з не заповненням або переповнюванням калібрів металом; зменшити брак сортового прокату із-за наявності волосин, тріщин; збільшити термін служби валків завдяки зменшенню сили прокатки в гладких валках на 15...20% в порівнянні з прокаткою в калібрах; зменшити витрату валків в 3...4 разу.

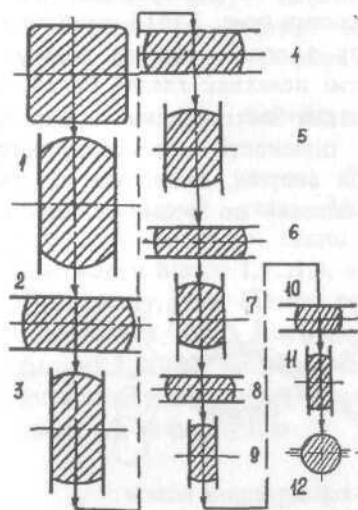


Рисунок 1.15 - Послідовність проходів (клітей) при реалізації прокатки в системі гладка бочка - гладка бочка

Технологія прокатування в гладких валках може бути застосована на існуючих заготовочних і сортових станах будь-якого типу. Відмітною особливістю цього процесу є те, що заготовку прокатують в двох паралельних циліндричних валках без калібрів і що мають ввідну провідку, здатну утримувати заготовку при її поданні у валки..

Заготовку задають у валки через ввідну провідку так, щоб з боку входу її менша вісь була паралельна робочим поверхням валків. Схема прокатки за цим способом показана на рис.1.16. Режим обтиснень вибирають з умови, що в кожному проході початкова товщина розкату має бути більше початкової ширини не більше ніж в 1,4 разу.