

3 Розрахунок параметрів осередку деформації при прокатуванні в калібрах

У двошвалковій кліті калібр частенько утворюється двома рівчаками, врізаними в тіло валка, вертикальні осі яких розташовані в одній площині. На рис.5 зображений 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 площа поперечного перерізу наступного калібру завжди менше площі попереднього калібру

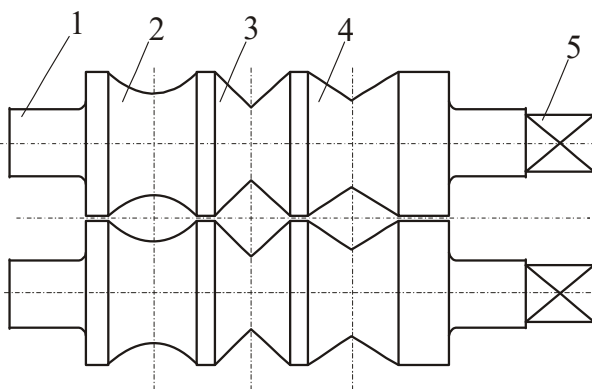


Рис.5. Валки сортового стана : 1 - шийка; 2-4 - калібри; 5 – хвостовик

Штаба, яка вийшла, наприклад, з овального калібру задається в наступий квадратний калібр з кантуванням на 90^0 . При цьому висота заготовки (овалу) завжди більша, а ширина менша, ніж відповідні розміри наступного квадратного калібру. Це забезпечує в калібрі задане обтиснення і необхідний простір на поперечну течію (розширення) металу. Тобто дотримуються умови:

:

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

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

Ряд послідовно розташованих калібрів складає систему калібрування для прокатки профілю. Розміри калібрів визначають розрахунковим або експериментальним шляхом. Правильно сконструйоване калібрування повинне забезпечувати [4-9] необхідні розміри готового профілю, високу якість поверхні профілю, максимальну продуктивність стана, мінімальну нерівномірність зносу валків, зручне обслуговування стана. Необхідні (точні) розміри профілю по висоті і ширині отримують попереднім налаштуванням розмірів чорнових, передчистових і чистових калібрів, дотриманням заданих температурного і швидкісного режимів прокатки, стабільного натягнення штаби у клітях неперервного стана. Висока якість поверхні прокату досягається раціональним режимом нагріву заготовок, оптимальним розподілом витягів по калібрах, раціональною формою калібрів. Головна умова отримання максимальної продуктивності стана - застосування заготовок підвищеної маси, максимальних кутів захвату і коефіцієнтів витягань, а також системи калібрування, яке частково 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 - ребровий овал, овал - круг, овал - овал).

Система овал - квадрат

Систему овал - квадрат широко застосовують на станах лінійного (старого) типу. Вона забезпечує інтенсивну деформацію металу (рис.6). Відношення розмірів осей овалу зазвичай приймають рівним $b/h = 2-3$. Великі значення b/h забезпечують і великі величини витягань (обтиснень), але при цьому

погіршуються умови захвату металу валками. У зв'язку з цим для великих розмірів овалів набувають менших значень b/h . При прокатуванні трубної заготовки ($d > 80 \dots 100$ мм) відношення діагоналей овалів знаходиться в межах $b/h = 1,3 \dots 1,6$.

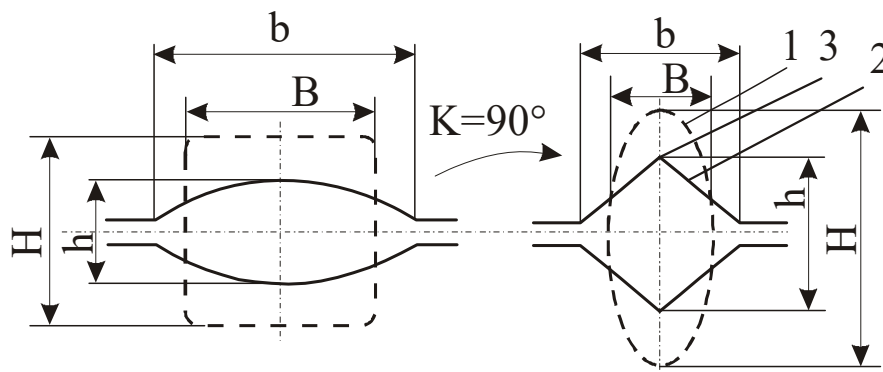


Рис.6.Калібри системи овал-квадрат (суцільні лінії - калібр; пунктирні - заготовка)

Коефіцієнти витягань в квадратних калібрах $\mu_{\text{кв}} = 1,2 \dots 1,5$, а в овалах $\mu_{\text{ов}} = 1,3-2,0$. Більше витягання в овальному калібрі забезпечується більшою шириною штаби, що прокатується в ній і меншого розширення. Невелике урізання рівчака овального калібру у валки, забезпечуючи міцність валка, також дозволяє робити в ній інтенсивне обтиснення. При прокатуванні квадратної штаби в овальному калібрі кожного разу метал з ребрових ділянок переходить на поверхню овальної штаби, що підвищує якість готової продукції. Недолік системи - плоха стійкість овальної штаби в квадратному калібрі, що вимагає установки щільних лінійок перед валками. Наявність великої нерівномірності деформації по ширині штаби обумовлює нерівномірність зносу калібрів. Нерівномірність деформації по ширині штаби обумовлена різною висотою заготовки і калібру по його ширині і, отже, різними обтисненнями в кожному поперечному перерізі профілю. Чим складніше форми заготовки і калібру, тим більша міра нерівномірності деформації металу. Окрім однорадіусних овалів застосовують також шестикутні калібри при прокатуванні в квадратному калібрі і плоскі овали при прокатуванні в круглих калібрах (рис.7,а,б). У шестикутному калібрі параметр $m = 0,4b$. Частному випадку є шестикутний калібр, в якому бічні стінки нахилені на кут рівний 45° . В цьому випадку $m = b - 1,41h_{\text{к}}$. У плоскому овалі радіус $r = h_{\text{к}}/2$ і параметр $m = b - h_{\text{к}}$.

При прокатуванні в системі овал-квадрат (рис.) коефіцієнт витягання в овальному калібрі завжди більший, ніж в квадратному. Співвідношення між коефіцієнтами витягання в квадратному і овальному калібрах на основі [1] визначається формулами:

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

$$\mu_{\text{ов}} = 1 + (0,6 - 0,5) (\mu_{\text{п}} - 1),$$

де $\mu_{\text{кв}}$ і $\mu_{\text{ов}}$ - коефіцієнти витягань відповідно в квадратному і овальному калібрах..

Коефіцієнт витягання в парі сусідніх калібрів і співвідношення між коефіцієнтами витягань рівні::

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

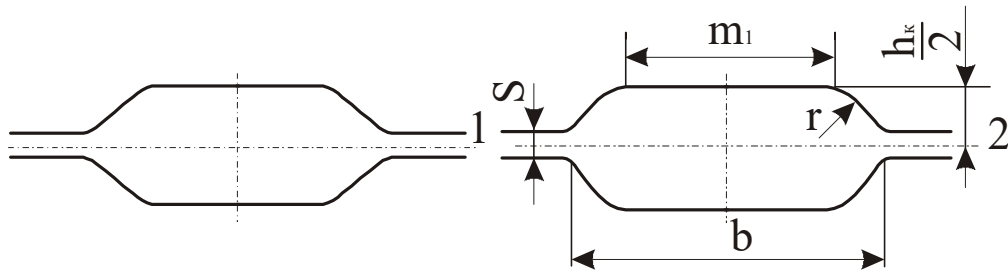


Рис.7. Калібри: а - шестикутник; б - плоский овал.

Система ромб-квадрат

Систему ромб-квадрат використовують для прокатки квадратних профілів на неперервно - заготовочних станах (рис.8). Для цієї системи характерні порівняно невеликі коефіцієнти витягань. При цьому внаслідок більшої ширини ромба, коефіцієнт витягані в ній дещо більше, ніж в квадратному калібрі. Проте в практичних розрахунках коефіцієнти витягань в калібрах цієї системи приймають однаковими в межах $\mu=1,2\dots1,4$. Кут при вершині ромба складає $100-120^\circ$ ($b/h=1,19\dots1,73$), а в чистовому квадратному калібрі $\sim 88^\circ$. Це необхідно для отримання кута квадрата при вершині рівним 90° після його охолодження.

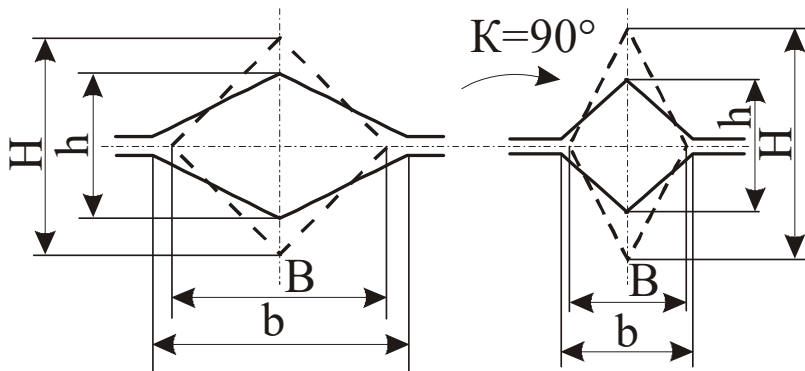


Рис.8. Система калібрів ромб – квадрат

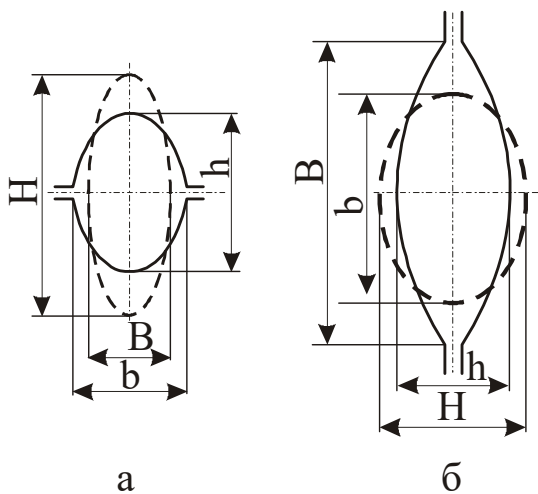


Рис.9. Система калібрів : а - овал - ребровий овал; б - ребровий овал-овал.

Наявність нахилу бічних стінок калібрів забезпечує зменшення розширення металу в порівнянні з прокаткою в гладких валках при одній і тій же висотній деформації. Фізична суть впливу похилих стінок калібрів полягає в появі поперечних складових нормальних сил, діючих від стінок проти напрямку переміщення течії металу. Незважаючи на недоліки ця

система калібрування широко застосовується на станах різного типу. При прокатуванні профілів в цій системі горизонтальні ребра не піддаються деформації, більше охолоджуються і на них можуть з'являтися дефекти у вигляді волосовин і закатів. На ділянках горизонтальних ребер виникає розтягуючи напруження, що сприяє утворенню поперечних тріщин. Розтягуючи напруження на ребрах виникають тому, що величина витягання буде менше на ребрах. При недостатній пластичності металу (леговані марки сталі) напруження можуть призводити до його руйнування, утворення тріщин. Тому цю систему калібрування не рекомендується застосовувати при прокатуванні малопластичних металів. Ребра готового квадратного профілю виходять з ребер заготовки, тому дефекти, що мають місце на заготовки, переходять на ребра готового профілю. Відсутнє «перемішування» металу в процесі деформації.

Система овал - ребровий овал

Система уперше була застосована на неперервному дрібносортному стані Макіївського металургійного заводу (рис.9). Реброві овали застосовують із співвідношенням діагоналей $h/b = 1,1 \dots 1,4$, а відношення осей овалу - $b/h = 2 \dots 3$. При цьому, чим більше розміри ребрового овалу, тим менше відношення h/b . Коефіцієнт витягання в ребрових овалах $\mu_{р.ов} = 1,2 \dots 1,4$ і визначається залежно від величини коефіцієнта витягання в парі калібрів овал - ребровий овал і з співвідношенням осей овалу b/h за формулою

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

Коефіцієнт витягання в однорадіусному овалі, визначають так

$$\mu_{ов} = \mu_{п} / \mu_{р.ов}.$$

На неперервних станах реброві овали врізають в горизонтальні валки, а однорадіусні - у вертикальні. Ця система володіє наступними перевагами:

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

Параметри деформації в простих калібрах

У відмінності від прокатки в гладких валках, для прокатування металу в простих калібрах характерна нерівномірна деформація по висоті штаби, що супроводжується змінністю усіх геометричних параметрів по ширині калібру (рис.6-9). Абсолютне обтиснення по осі калібру рівне

$$\Delta h = H - h. \quad (8)$$

Це обтиснення по осі калібру може бути максимальним (система ромб - квадрат) або мінімальним (прокатка квадратної штаби в овалному калібрі). Максимальне лінійне обтиснення в калібрі використовують для розрахунку допустимого кута захвату штаби в калібрі. Діаметр калібру по осі рівний

$$D_0 = D_6 - (h - S). \quad (9)$$

де D_6 - діаметр валка по буртах; h - висота штаби по осі калібру.

У зв'язку зі змінним діаметром по ширині калібру визначають середній катаючий діаметр в калібрі:

$$D = D_6 - (h_{cp} - S). \quad (10)$$

де h_{cp} - середня товщина штаби після прокатки.

Середній катаючий діаметр валків в калібрі відповідає швидкості виходу штаби з валків, без урахування величини випередження, тобто транспортуючої швидкості валків. Кут захвату по осі калібру і середній по ширині:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h / R_0}; \quad \alpha_{CP} = \sqrt{\Delta h_{CP} / R}, \quad (11)$$

де R_0 і R - мінімальний і середній катаючі радіуси валків в калібрі; Δh_{cp} - середнє обтиснення по ширині калібру.

Довжини дуг контакту по осі і середня по ширині калібру :

$$l_{do} = \sqrt{R \cdot \Delta h}; \quad l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h_{CP}}. \quad (12)$$

Середнє обтиснення по ширині калібру в спрощеному варіанті по методу максимальної ширини (по приведеній штабі) визначається з формули

$$\Delta h_{cp} = H_{cp} - h_{cp}, \quad (13)$$

де H_{cp} - середня товщина заготовки до прокатки.

Середня товщина штаби до і після прокатки приблизно, яку розраховують по формулах:

$$H_{cp} = q_0/B; \quad h_{cp} = q/b, \quad (14)$$

де q_0 і q - площі поперечного перерізу заготовки і штаби в калібрі.

Для визначення q_0 і q в різних системах калібрів отримані відповідні формули. Так, для визначення q_0 і q при прокатаванні в системі ромб-квадрат (рис.8) використовують наступні формули без урахування закруглень кутів :

$$\text{для заготовки} \quad q_0 = HB/2; \quad H_{CP} = \frac{HB}{2B} = 0,5H; \quad (15)$$

$$\text{для калібра} \quad q = hb/2; \quad h_{CP} = \frac{hb}{2b} = 0,5h. \quad (16)$$

Коефіцієнти витягань по осі калібру і середній рівні:

:

$$\mu = H/h; \quad \mu_{cp} = q_0/q. \quad (17)$$

Площа перерізу штаби до або після прокатки з урахуванням закруглень приймають рівною

$$q_i = 0,98 \cdot q_0;$$

У загальному випадку середнє обтиснення рівне

$$\Delta h_{cp} = H_{cp} - h_{cp} = n_0 H - nh = n \cdot h \left(\frac{n_0}{n} \frac{H}{h} - 1 \right), \quad (18)$$

где n_0 и n - коефіцієнти форми поперечных сечений соответственно заготовки и полосы в калибре.

Коефіцієнти n_0 и n получают из отношений площадей сечений фасонных заготовок и калибра к площади описанных прямоугольников. Для прямоугольного (ящичного) калибра $n_0 = n = 1$, для квадратного и ромбического калибров из выражений (9) - (11) имеем ($n_0 = 0,5$; $n = 0,5$):

$$H_{cp} = n_0 \cdot H = 0,5H; \quad h_{cp} = n \cdot h = 0,5h.$$

Для однорядусного овалу коефіцієнт n визначається з формули (при $b/h < 2,4$)

$$n_i = 0,69 + 0,035 (2,4 - b/h)^3. \quad (19)$$

Для ребрового овалу:

$$n_i = 0,69 + 0,035 (2,4 - h_{p.ов}/b_{p.ов})^3. \quad (20)$$

Для круглого калібру $n_i = 0,785$ (для заготовки $n_i = n_0$, а для калібру $n_i = n$).

З вираження (19) виходить, що зі збільшенням відношення b/h коефіцієнт n зменшується. При $b/h = 3,3$ коефіцієнт $n = 0,67$. Для шестикутного калібру коефіцієнт $n = 0,77$, для плоского овалу - $n = 0,88$.

Площа контакту штаби з валками

Площа контакту штаби з валками залежить від обтиснення, діаметру валків, ширини штаби, форм заготовки і калібру і в загальному випадку має вигляд

$$F = k \cdot b \sqrt{R_0 \cdot \Delta h}, \quad (21)$$

де R_0 - радіус валків по осі калібру; k - коефіцієнт, отриманий відношенням площі контакту штаби з валками в калібрі до площі описаного прямокутника (коефіцієнт форми площі контактної поверхні в калібрі).

При прокатуванні в системі ромб-квадрат (рис.8) максимальне обтиснення зосереджене по осі калібру, що обумовлює максимальні коефіцієнт витягання і довжину дуги контакту в цьому подовжньому перерізі штаби. Ширина ділянки контакту штаби і валків у момент захвату незначна, а у міру просування штаби уздовж осередку деформації ширина контакту збільшується, досягаючи максимального значення в площині виходу з валків. В цьому випадку ширина контакту дорівнює ширині штаби « b ». В результаті деформації металу в цій

системі калібрування горизонтальна проекція площі може бути розрахована з формули

$$F = 0,67b\sqrt{R_0 \cdot \Delta h}, \quad (22)$$

де 0,67 - співвідношення площ овалу і прямокутника з однаковими розмірами осей ($k=0,67$).

При прокатуванні квадратної заготовки в овалному калібрі (рис.6) найбільше обтиснення зосереджене на бічних ділянках заготовки, де висотні розміри калібру менші, ніж по осі. У зв'язку з цим і довжина дуги контакту в цьому перерізі буде більше, ніж по осі штаби, а середня площа контакту штаби з валками приймають рівною

$$F = 0,54(b + B)\sqrt{R_0 \cdot \Delta h}.$$

При прокатуванні овальної штаби в квадратному калібрі і в калібрах систем овал - ребровою овал, овал-круг коефіцієнт k (0,75 і тому При прокатке овальної полоси в квадратном калибре и в калибрах систем овал - ребровой овал, овал-круг коэффициент $k \approx 0,75$ и поэтому

$$F = 0,75 \cdot b\sqrt{R_0 \cdot \Delta h}.$$

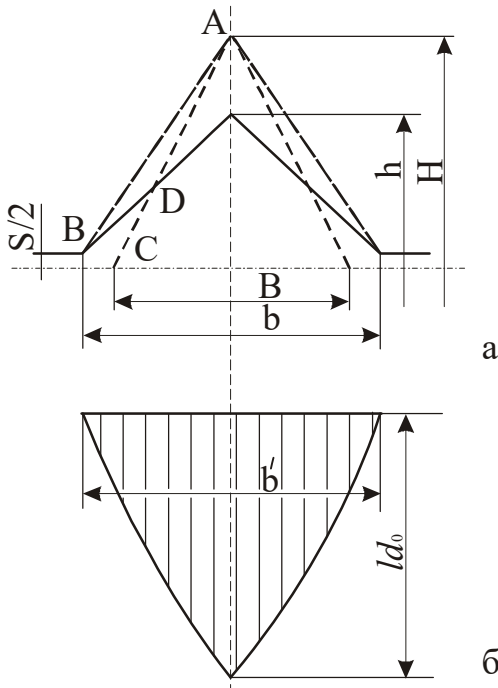


Рис.10.Деформація ромбічної штаби в квадратному калібрі (а) і форма контактної поверхні (б) (Рис. 5-10 виконані Ю.О.Белоконь)

Відмітимо, що числові коефіцієнта у формулах для розрахунку площі контакту є наближеними. Точні значення цих коефіцієнтів отримують експериментальним шляхом.