

## Лекція 11

### 2.5 Витривалість та реставрація валків

Витривалість (стійкість) валків - це кількість металла, прокатаного комплектом (парою) валків за увесь період його експлуатації. В річному розрізі витривалість валків  $V$  -це фактична річна програма виробництва (кількість прокатаного металла за рік)  $\Pi$ , поділена на кількість валків  $N$ . витрачених на стані за рік, тобто:

$$V = \frac{\Pi}{N} \quad (11)$$

Питомі витрати за рік на стані  $\delta$  знаходять із співвідношення:

$$\delta = N \cdot \frac{Q}{\Pi} \quad (12)$$

Звідки можна знайти, необхідну кількість валків для забезпечення роботи стана:

$$N = \frac{\Pi \cdot \delta}{Q} \quad (13)$$

де  $Q$  - маса нового валка, т.

Питомі витрати валків  $\delta$  (т/т або кг/т) регламентуються галузевими нормами.

Деякі причини виробничо-технологічного зношування валків, наприклад внаслідок абразивного ковзання пари метал-метал в осередку деформації, розглянуто раніше., при цьому найбільш небажаним є нерівномірне зношування внаслідок нерівномірності тисків на контактах опорний-робочий валок та робочий валок-прокатувана штаба.

Нерівномірність зношування призводить до локальних виробіток та збільшення зйому металла з бочки або з елементів калібрів при вальцетокарній або вальцешліфовальній обробці валків. Крім того, зі збільшенням нерівномірності зношування збільшується нерівномірність розподілу контактних тисків у валковому вузлі та осередку деформації. Очевидно, що нарощування нерівномірностей зношування і тисків, носить майже лавинний характер. Особливо це характерно для класичних клітей кварто станів холодної прокатки. В роботі [17] наведена діаграма, що показує оптимальну ширину штаб для кожного співвідношення діаметрів робочого і опрного валків (рис.42).

Поверхня  $abcd$  (рис.42) показує, що для кожного співвідношення основних розмірів валкового вузла  $D_p / D_{оп} : L/D_{оп}$  відповідає оптимальна ширина, під час прокатки якої питомі тиски розподілено рівномірно. В реальному процесі прокатки поміжвалковий тиск може розподілятися з максимумом посередині ширини  $B$  для вузьких штаб, або з двома максимумами по краям по ширені для широких штаб (рис. 39).

Співвідношення розмірів відповідно двом максимумам тисків по кромкам штаби розташовані вище від поверхні  $abcd$  (рис.42), а за максимумом по середині довжини валка - нижче поверхні  $abcd$  або в середині фігури  $odaebc$ .

Прокатні валки списують в металевий брухт в основному внаслідок технологічного зношування. При цьому діаметр бочок валків внаслідок переточок і перешліфовок зменшується до величини, яка стає недопустимою, наприклад, лінія прокатки опускається нижче рівня проводки станів.

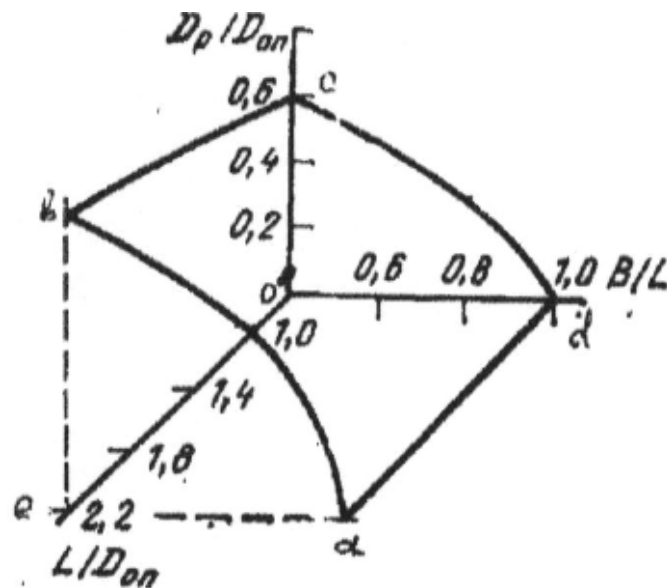


Рисунок.42 поверхня відповідаюча оптимальним співвідношенням основних розмірів валкового вузла кліти кварто і ширини штаби, що забезпечують рівномірне розподілення питомих тисків по ширині штаби в осередку деформації ( $D_p, D_{on}, L$ - діаметри робочих і опорних валків і довжина бочки,  $B$  - ширина штаби).

В багатьох випадках валки руйнуються до повного зношування і навіть до початку їх експлуатації. Руйнування валків в процесі їх експлуатації поділяються на [10]:

- 1Поломки бочок поперек і під кутом;
- 2Поломки шийок валків по галтелі;
- 3Викришування бочок валків (рис.43);
- 4Тріщиноутворення на бочках.

Руйнування виникає у випадках, коли напруження в валках перевищують границю міцності.

Напруження в валках можливо класифікувати за їх походженням як залишкові, термічні і експлуатаційні.

Залишкові напруження виникають в процесі виготовлення валків, особливо під час закалювання поверхні бочки.

Термічні напруження виникають внаслідок різниці температури поверхні і серцевини бочки, експлуатаційні виникають внаслідок дії згину і кручення в процесі прокатки.

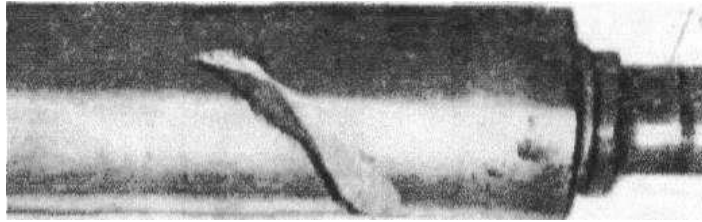


Рисунок 43 Викришування (сколювання) на бочці робочого валка діаметром бочки 500 мм із сталі 9Х2МФ: 1-бочка; 2- шийка

Крім того, в чотиривалкових клітках при тисковій парі валків різних діаметрів виникає система напружень як в області контакту, так і в поперечних перерізах робочого і опорного валків. Ця система контактних напружень додається до залишкових і термічних напружень. Ця надскладна система напружень діє на валок циклічно, тобто повторно-знакозмінно.

Циклічні навантаження призводять до стомлення металу. Стомленістю називається процес поступового нагромадження пошкоджень металу під час повторних або повторно-знакозмінних напружень, що призводять до утворення тріщин, а потім і до руйнації.

Особливість цього процесу - це поява і розвиток субмікротріщин і мікротріщин при напруженнях в два й більше раз менших за границю міцності. Здатність металу витримувати циклічні навантаження без утворення тріщин і руйнування називається витривалістю.

Витривалість валків, тобто збільшення терміну їх роботи без руйнування досягають методом реставрації з метою підвищення міцності і твердості їх бочок. Найбільш поширені методи реставрації:

- частково або повністю зношені до гранично мінімального діаметра валки блюмінгів, слябінгів і сортових станів піддають електронаплавці. При цьому збільшують діаметри до величин нових валків і за рахунок сучасних технологій електрозварювання зміцнюють бочку валка;

- перезакалювання частково зношених бочок (на 30-40%) сталевих робочих і бандажів опорних валків шгабопрокатних станів з наступним низькотемпературним відпуском, наприклад, в розплаві солі ( $\sim 500^{\circ}\text{C}$ );

- хромування поверхні бочок робочих валків методом нанесення твердого хромового покриття при температурах  $53-56^{\circ}\text{C}$  і щільності електричного струму  $52-58 \text{ A}/\text{дм}^2$ . Хромування дозволяє підвищувати твердість бочок валків;

- обкатка відшліфованих бочок робочих валків роликками. Цей метод реставрації підвищує твердість бочок і запобігає їх викришуванню і сколюванню поверхневого загартованого робочого шару бочок;

- насичення поверхневого шару бочок валків бором, що дозволяє збільшити твердість частково зношених валків;

- попередній підігрів валків в індукторах перед їх завалюванням в прокатні кліті, що зменшує величину термічних напружень в бочках;

- використання вискоєфективних технологічних мастил, що зменшує тертя і абразивне зношування бочок валків, а також зменшує силу прокатки і контактні тиски на контактах опорні-робочі валки і в осередку деформації;

- оптимізація технологій перешліфовки валків з використанням верстатів з ЧПУ, змонтованих на фундаментах з віброгасниками.

## 2.6 Допустимі сили прокатки в двовалкових клітях

В залежності від кількості і типу валків в кліті визначення допустимої сили прокатки має деякі особливості, але, не зважаючи на це, валок при розрахунках на міцність завжди розглядається як двоопорна балка з відстанню поміж опорами  $a$ . Як видно із схеми навантаження валків кліті дуо (рис.44);  $a$  приймається рівним відстані поміж серединами підшипників валків (між осями натискних гвинтів) і найпростіше визначається із умови, що опори валків А і В розміщені по середині довжини їх шийок, тобто:

$$a = L_6 + \frac{2l_{ш}}{2} = L_6 + l_{ш} \quad (14)$$

Необхідно зазначити, що сили, моменти згину і кручення, напруження згину і кручення, еквівалентні напруження визначаються за загально відомими формулами опору матеріалів та прикладної механіки. Алгоритми розрахунків валків на міцність вивчаються в курсі „Валки та валкова арматура” наведені в підручниках [1-2,9,11].

Схема навантаження валків двовалкової кліті наведена на рис. 44.

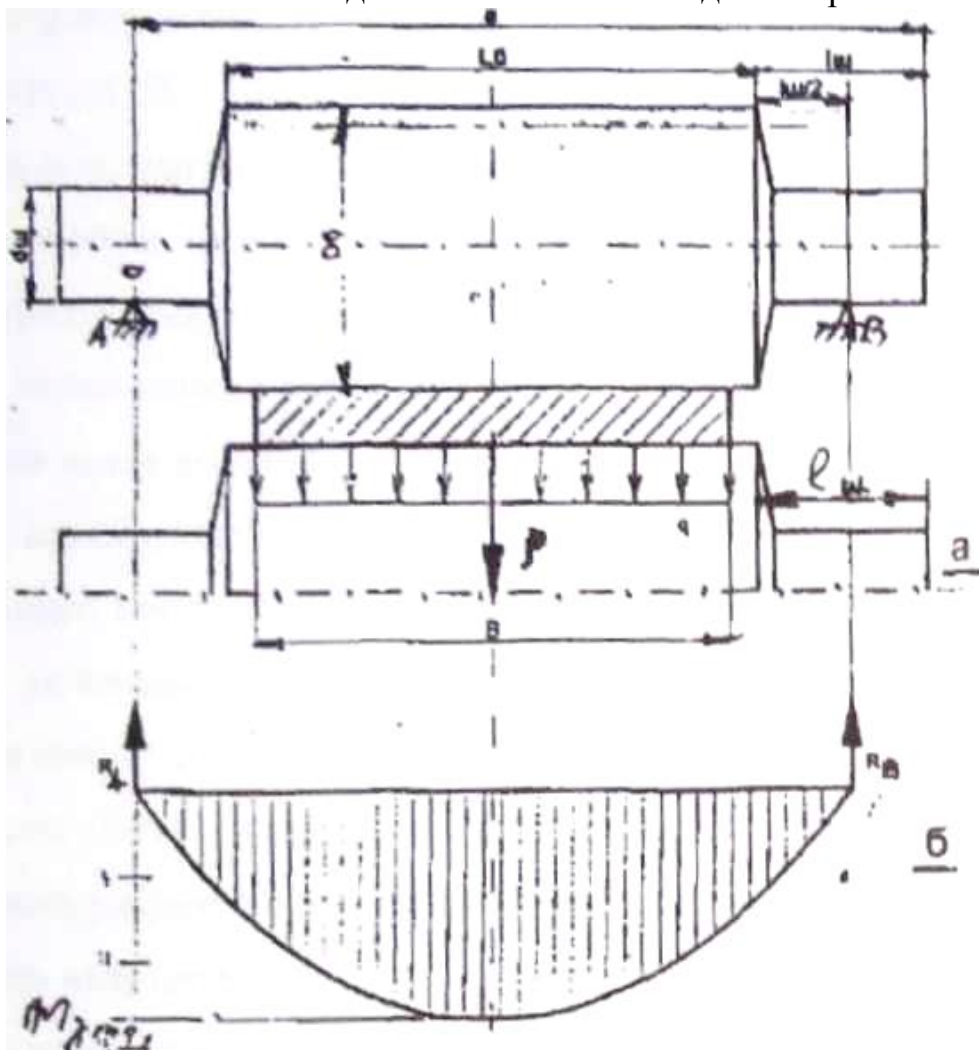


Рисунок 44 Схема навантаження валків кліті дуо (а) та еюра діючого під час прокатки момена з гина (б): А і В - опори, Р - сила прокатки;  $R_a$  і  $R_b$  - реакції діючі на шийки; q - погоний тиск по ширині штаби В;  $D_6$  і  $L_6$  - діаметр і довжина бочки;  $d_{ш}$  і  $l_{ш}$  - діаметр і довжина шийки.

Напруження згину  $\sigma_3$  і кручення  $\tau$  визначаються по так званим дзеркальним формулам опору матеріалів, а саме:

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_3} = \frac{M_3}{0.1D^3} \quad (15)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} = \frac{M_{кр}}{0.2D^3} \quad (16)$$

де  $M_3, M_{кр}$  - діючі моменти відповідно згину і кручення в перерізі діаметром D;

$W_3, W_{кр}$  - відповідно моменти опору пружному згину і крученню.

Із умови міцності бочки валка, тобто по (15), запишемо:

$$[P_3]_6 = \frac{0.4D^3 k_{min}[\sigma_3]}{L_6 + l_{ш} - 0.5b} \quad (17)$$

де  $[\sigma_3]$  - допустиме напруження матеріалу валків на згин;

$D_{k_{min}}$  - мінімальний (після останньої переточки) катаючий діаметр валків (для блюмінгів і сортопрокатних клітей по дну калібру);

$L_6, l_{ш}$  - відповідно довжини бочки і шийки валка;

b — ширина штаби.

При визначенні допустимої сили прокатування по міцності приводної шийки валка необхідно урахувати не тільки напруження згину  $[\sigma_3]$ , але і напруження кручення  $\tau_{кр}$ . Результатне напруження вираховується за формулами:

- для сталевих валків:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau_{кр}^2} \quad (18)$$

- для чавунних валків:

$$\sigma_p = 0.375\sigma_3 + 0.625\sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau_{кр}^2} \quad (19)$$

Напруження згину та кручення згідно (15) і (16) визначаються за формулами:

$$\sigma_3 = \frac{P \cdot l_{ш}}{0.4d_{ш}^3} \quad (20)$$

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{0.2d_{ш}^3} \quad (21)$$

де  $d_{ш}$  - діаметр шийки валків;

$M_{кр}$  - круглий момент, прикладений до шийки валка.

Приблизно, знехтувавши моментом сил тертя в підшипниках валка, можливо прийняти крутний момент на шийці  $M_{кр}$  рівним крутному моменту на бочці валка, тобто моменту прокатки  $M_{пр}$ , який дорівнює:

$$M_{кр} = M_{пр} = P\psi l_d \quad (22)$$

де P - сила прокатки;

$l_d$  - довжина осередку деформації;

$\psi$  - коефіцієнт плеча моменту.

$$l_d = \sqrt{R_{k_{min}} \cdot \Delta h} \quad (23)$$

По [19] в США при побудуванні математичних моделей прокатних станів і процесів прокатки приймають:

$\psi = 0,5$  - для блюмінгів, слябінгів, чорнових клітей товстолистових станів, при прокатуванні заготовок і квадратної сортової сталі;

$\psi = 0,6$  - при прокатуванні овальних і круглих штаб і профілів.

Тому для клітей дуо приблизно приймаємо  $\Phi = 0,5$ , з урахуванням чого і формул (22), (23) отримуємо:

$$M_{пр} = 0,5P\sqrt{R_{k_{max}} \cdot \Delta h} \quad (24)$$

Підставивши  $M_{кр}$  із (24) і (21) отримуємо:

$$\tau_{кр} = \frac{0,5P\sqrt{R_{k_{max}} \cdot \Delta h}}{0,2d_{ш}^3}$$

Або в кінцевому вигляді:

$$\tau_{кр} = \frac{P\sqrt{R_{k_{max}} \cdot \Delta h}}{0,4d_{ш}^3} \quad (25)$$

Підставивши значення  $\sigma_3$  і  $\tau_{кр}$  із (20) та (25) в формули (18) та (19) і деяких перетворень останніх отримуємо вирази для визначення допустимих сил прокатки по міцності шийок  $[P]_{ш}$ :

для сталевих валків:

$$[P]_{ш} = \frac{0,4d_{ш}^3[\sigma_p]}{\sqrt{l_{ш}^2 + R_{k_{max}} \cdot \Delta h}} \quad (26)$$

для чавунних валків:

$$[P]_{ш} = \frac{0,4d_{ш}^3 \left( 2,5\sqrt{\lambda_{ш}^2 + R_{k_{max}} \cdot \Delta h} - 1,5l_{ш} \right) [\sigma_p]}{l_{ш}^2 + 6,25R_{k_{max}} \cdot \Delta h} \quad (27)$$

В розрахунках допустимі напруження  $[\sigma_3]$  і  $[\sigma_p]$  необхідно приймати із умови:

$$[\sigma] = \sigma_B / [n]_{min} \quad (28)$$

де  $\sigma_B$  - границя міцності з урахуванням матеріале і способів виготовлення та термообробки валків;

$[n]_{min} = 5$  - мінімальний запас міцності валків при розрахунках на статичну міцність.

По [1] і [15] рекомендуються слідуочі показники  $[\sigma]$ ,  $\sigma_B$ ,  $[\tau_{кр}]$ . [табл. 12]

В розрахунках рекомендується приймати менші значення допустимого напруження при визначеннях  $[\sigma_3]$  і більші для  $[\sigma_p]$ . Необхідно зазначити, що до сьогодні не розроблена науково обгрунтована методика визначення допустимих напружень на кручення. Можливо, це є однією із причин того, що приводні робочі валки найчастіше руйнуються по галтелі на переході приводної шийки в бочку валка.

Таблиця 12. Допустимі напруження для валків.

Матеріал та спосіб виготовлення валків	Границя міцності $\sigma_b$ , МПа	Допустимі напруження, МПа	
		$[\sigma]$	$[\tau_{кр}]_{кр}$
відлиті із нелегованих чавуні	350-400	70-80	70
відлиті із легованих чавунів	400 - 450	80-90	80
відлиті із вуглецевих сталей	500 - 600	100-120	80
відкуті із середньовуглецевих сталей	500 - 600	100-120	80
відкуті із високовуглецевих сталей	600 - 650	120-130	80
відкуті із легованих сталей	700-750	140-150	100

## 2.7 Допустимі сили прокатки в клітях кварто

Як зазначалось раніше (див. п.1.3) чотиривалкові кліті (кварто) використовують на неперервних і реверсивних станах гарячої і холодної прокатки та в якості чистових клітей на сучасних товстолистових станах.

Спрощено рахують, що опорні валки сприймають згинаючі, а робочі - згинаючі ( -10% діючої сили прокатки  $P$ ) та крутні моменти, необхідні для обертання валків і деформації металу. Таким чином, допустимі значення прокатки визначають з умов міцності бочки і шийки опорного валка на згин, та робочого по крученню шийки.

Схема навантаження робочих і опорних валків кліті кварто наведена раніше на рис.39. Скориставшись рис.39, шляхом підстановки значень  $M_z$  для бочки і шийки в формулу (15) отримаємо, що допустимі сили по міцності опорних валків клітей кварто станів всіх типів визначають за формулами:

$$[P_o]_б = \frac{0,4D_0^3 \max [\sigma_3]_0}{0,5L_{б_о} + l_{ш_о}} \quad (29)$$

$$[P_o]_{ш} = \frac{0,4d_0^3 [\sigma_3]_0}{l_{ш_о}} \quad (30)$$

де  $[P_o]_б$  , - допустима сила по міцності бочки;

$[P_o]_{ш}$  допустима сила по міцності шийки;

$L_{б_о}$  і  $L_{ш_о}$  - відповідно довжина бочки і шийки опорного валка;

$[\sigma_3]$ - допустиме напруження на згин матеріала опорного валка.

Допустиме зусилля на кручення шийки робочого валка  $[P_p]_{ш}$  визначають, користуючись формулами (20) і (21), із яких:

$$[\tau_{кр}]_{шр} = \frac{M_{кр}[P_p]_{ш} \cdot \psi l_d}{0,2d_{шр}^3} \quad (31)$$

По [19] приймаємо:

$\psi = 0,5$  - для товстолистових станів і чорнових клітей БШШС гарячої прокатки;

$\psi = 0,4$  - для чистових клітей БШШС гарячої прокатки;

$\psi = 0,25$  - для клітей безперервних і реверсивних станів холодної прокатки.

Скориставшись цими даними і формулою (31) знаходять допустиму силу  $[P_p]_{ш}$ :

-для товстолистових станів і чорнових клітей БШШС гарячої прокатки:

$$[P_p]_{ш} = \frac{0,2d_{шр}^3 [\tau_{кр}]_{шр}}{0,5 \sqrt{R_{pmin} \cdot \Delta h}} = \frac{0,4d_{шр}^3 [\tau_{кр}]_p}{\sqrt{R_{pmin} \cdot \Delta h}} \quad (32)$$

- для чистових клітей БШШС гарячої прокатки:  $[P_p]_{ш}$ :

$$[P_p]_{ш} = \frac{0,5d_{шр}^3 [\tau_{кр}]_p}{\sqrt{R_{pmin} \cdot \Delta h}} \quad (33)$$

Знаменник в формулах (32) і (33) - це довжина дуги захвата метала валками, яка для робочих валків (для осередку деформації під час прокатки) визначається з урахування пружного сплюснення бочок валків.

В загальному вигляді довжина дуги контакту метала зі сплюсненими валками визначається за виразом:

$$l_{дс} = x^2 + R \cdot \Delta h + x^2 \quad (34)$$

де  $R$  - радіус робочого валка;

$\Delta h$  - абсолютний обтиск металла;

$x$  - приріст довжини дуги контакту метала з валками за рахунок пружного сплюснення бочок валків.

Визначення  $l_{дс}$  за формулами Хічкока, Целікова, Динніка і ін. доволі складне і виконується методом ітерації (поступових наближень). Достатню точність дає без ітераційна формула В. Робертса [17]

$$l_{дс} = \sqrt{R\Delta h + 1.08} = \sqrt{\frac{2R \cdot P_e}{E \cdot b}} \quad (35)$$

В [6] Прищип М.Г. вирішив і спростив рівняння (35) прийнявши для сталених валків модуль пружності  $E = 21,6 \cdot 10^4$  МПа

$$l_{дс} = \sqrt{R\Delta h + 1.08} = \sqrt{\frac{2R \cdot P_e}{21,6 - 10^4 \cdot b}}$$

або в кінцевому вигляді:

$$l_{дс} = \sqrt{R\Delta h + 0.00328} \sqrt{\frac{R \cdot P_e}{b}} \quad (36)$$

Де  $R\Delta h$  - радіус бочки валків і обтиск металла;

$b$  - ширина прокатуваної штаби;

$P_e$  - сила прокатки по експериментальним даним для стана аналога і однакових умов прокатки.

Користуючись формулами (31) і (35) для клітей кварто станів холодне» прокатки отримаємо значення допустимої сили прокатки по міцності приводної шийки робочого валка:

$$[P_p]_{ш} = \frac{0,5d_{шр}^3 [\tau_{кр}]_p}{\sqrt{R_{pmin} \cdot \Delta h + 0.00328} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot P_e}{b}}} \quad (37)$$

де  $d_{шр}^3$  - діаметр шийки робочого валка;



$[\tau_{кр}]$ -допустиме напруження на кручення, яке для шийок робочих валків із легованої сталі рекомендується приймати рівним 90-100 МПа.